

## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il n'a pas été réévalué depuis la date de soutenance.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact au SICD1 de Grenoble : **thesebum@ujf-grenoble.fr**

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

ANNEE 2013

N°

---

**REPRODUCTIBILITE DES PARAMETRES  
POSTUROGRAPHIQUES ET SPATIOTEMPORELS DU PAS  
CHEZ LES AMPUTES DE MEMBRE INFERIEUR**

---

**THESE PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MEDECINE  
DIPLOME D'ETAT**

Audrey ADMIRAT

Née le 11 Octobre 1983 à CLERMONT-FERRAND

THESE SOUTENUE PUBLIQUEMENT A LA FACULTE DE MEDECINE DE GRENOBLE  
Le 20 SEPTEMBRE 2013

DEVANT LE JURY COMPOSE DE :

M. le Professeur Dominic PERENNOU

Président

M. le Professeur Jean-Luc MAGNE

M. le Professeur Jacques LUAUTE

M. le Docteur Patrice DAVOINE

# Sommaire

Sommaire .....	2
Remerciements .....	4
Index des figures .....	6
Index des tableaux .....	6
INTRODUCTION.....	7
I.    Epidémiologie .....	7
a)    Situation en France .....	7
b)    Complications de l’amputation.....	7
II.    Marche et amputation .....	8
III.    Posturographie et amputation .....	8
IV.    Objectifs.....	9
MATERIELS ET METHODES .....	10
I.    Participants .....	10
a)    Modalité de sélection.....	10
b)    Caractéristiques des participants .....	10
II.    Evaluation.....	13
a)    Evaluation clinique .....	13
b)    Evaluation instrumentale .....	16
III.    Analyse statistique.....	20
IV.    Ethique.....	20
RESULTATS .....	21
I.    Appariement des groupes .....	21
II.    Comparaison des paramètres posturographique et spatiotemporels du pas .....	21
a)    Paramètres posturographiques .....	21
b)    Paramètres spatiotemporels du pas.....	23
III.    Reproductibilité des paramètres posturographiques et spatiotemporels du pas .....	26
a)    Paramètres posturographiques .....	26
b)    Paramètres spatiotemporels du pas.....	28

IV. Lien entre les paramètres posturographiques et spatiotemporels du pas et les caractéristiques cliniques des patients .....	31
a) Age.....	31
b) Délai depuis l’amputation.....	31
c) Niveau d’amputation .....	31
d) Caractère provisoire de la prothèse .....	31
e) Utilisation d’une canne béquille (CB) en extérieur .....	32
f) Satisfaction et capacités de marche appareillée.....	32
DISCUSSION .....	34
CONCLUSION .....	41
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	43
ANNEXES .....	48

## Remerciements

*A mes maîtres et juges,*

A Monsieur le Professeur Dominic PERENNOU,

Vous me faites l'honneur de présider cette thèse et de juger mon travail.

Vous avez suivi mon parcours pendant l'internat et m'avez accompagnée dans mes choix.

Veillez trouver ici l'expression de toute ma gratitude et de mon profond respect.

A Monsieur le Professeur Jean Luc MAGNE,

Votre présence dans ce jury de thèse est un honneur pour moi,

Veillez trouver ici le témoignage de toute ma gratitude.

A Monsieur le Professeur Jacques LUAUTE,

Vous me faites l'honneur de participer au jury de cette thèse,

Vous m'avez accordé votre attention et votre confiance,

Veillez trouver ici l'expression de mon profond respect.

A Monsieur le Docteur Patrice DAVOINE,

Vous me faites l'honneur de participer à l'évaluation de mon travail,

Veillez trouver ici l'expression de toute mon estime.

*A mes maîtres d'internat,*

Au Docteur Marie-Pierre DE ANGELIS,

Je te remercie pour ta gentillesse, ton enthousiasme et ton inconditionnel soutien.

Tu es une personne précieuse qui restera dans mon cœur.

Au Docteur Anne PRINCE et au Docteur Françoise LALOUA,

Pour votre immense savoir et votre gentillesse.

Au Docteur Adélaïde MARQUER, pour ton dynamisme et ton enthousiasme.

A Monsieur le Professeur Robert JUVIN, Monsieur le Professeur Philippe GAUDIN,  
Monsieur le Docteur Gérard BESSON, Monsieur le Docteur Olivier CASEZ, Madame le  
Docteur Marie BARRE, Monsieur le Docteur Michel SIRODOT, Madame le Docteur Vanessa  
SEETHA, Madame le Docteur Carine TURCHET, Madame le Docteur Nathalie GUIHARD,  
Monsieur le Docteur Brahim ANAJJAR, Madame le Docteur Béatrice VILLEMUR, Madame  
le Docteur Anne CHRISPIN, ce fut un plaisir et une grande richesse de travailler à vos côtés.

### *A ma famille à qui je dédie cette thèse*

A Mathilde, pour notre complicité et nos fous rires, de la part d'une grande sœur très fière.

A mes parents, pour toute l'aide et tout l'amour que vous m'avez donné. Mille mercis.

A mes grands-parents, ma tante et mon oncle, Gauthier et Séverine, vous comptez beaucoup pour moi.

A mon oncle pour qui j'ai une grande pensée.

### *A mes amis*

A Marion et Virginie, notre amitié est la plus belle chose qui me soit arrivée.

A Mélanie, Clémence, Clément, Aurélie, Maël, Marjorie, Marie et bien d'autres, merci pour les sourires, les fous rires, les footings et les voyages. Au plaisir de vous retrouver.

### *Et merci ...*

A Marc, Bruno Saurel et Brice Sibille, votre aide a été incroyable et précieuse. Je remercie aussi les volontaires qui ont accepté de donner un peu de leur temps pour cette thèse.

A tout le personnel de l'Institut de Rééducation, de Rhumatologie et de Neurologie générale du CHU de Grenoble, de la Réanimation à Annecy et de la Clinique du Grésivaudan.

Travailler à vos côtés a été un immense plaisir et une grande richesse. Je vous remercie pour votre disponibilité, votre patience et votre écoute.

Enfin je souhaite remercier toutes les personnes qui m'ont aidée ici ou ailleurs.

## **Index des figures**

<b>Figure n° 1. Résultats moyens de l'échelle SatPro pour notre groupe de patients. ....</b>	<b>14</b>
<b>Figure n° 2. Capacités motrices des patients : résultats de l'échelle PPA-LCI .....</b>	<b>15</b>
<b>Figure n° 3. Paramètres spatiotemporels du pas.....</b>	<b>19</b>
<b>Figure n° 4. Comparaison des données posturographiques. ....</b>	<b>22</b>
<b>Figure n° 5 Comparaison des données temporelles du pas. ....</b>	<b>24</b>
<b>Figure n° 6. Comparaison des données spatiales du pas .....</b>	<b>25</b>
<b>Figure n° 7. Reproductibilité des paramètres posturographiques.....</b>	<b>27</b>
<b>Figure n° 8. Reproductibilité des paramètres temporels du pas.....</b>	<b>29</b>
<b>Figure n° 9. Reproductibilité des paramètres spatiaux du pas. ....</b>	<b>30</b>

## **Index des tableaux**

<b>Tableau 1. Caractéristiques des participants.....</b>	<b>11</b>
<b>Tableau 2. Caractéristiques d'appareillage des patients.....</b>	<b>12</b>
<b>Tableau 3. Résumé de la littérature concernant la reproductibilité de la posturographie chez le sujet sain .....</b>	<b>37</b>
<b>Tableau 4. Résumé de la littérature concernant la reproductibilité des paramètres spatio-temporels du pas.....</b>	<b>39</b>

# **INTRODUCTION**

## **I. Epidémiologie**

### **a) Situation en France**

Le taux d'amputation varie considérablement d'un pays à l'autre (1). En France le nombre d'amputation n'est pas connu avec précision mais les experts estiment qu'elles ont une incidence d'environ 5000 par an, avec une prévalence autour de 40000 patients, sans que ces valeurs soient confirmées par des enquêtes épidémiologiques précises. Les trois premières causes d'amputation sont représentées par les pathologies vasculaires, traumatiques et tumorales, avec une nette prédominance pour les causes vasculaires, en particulier le diabète (2). Les pathologies infectieuses et congénitales représentent le reste des amputations. Quelle que soit l'étiologie, les hommes ont plus de risques d'être amputés que les femmes (1). Le niveau d'amputation dépend de l'étiologie, les patients artéritiques diabétiques ayant un risque d'amputation plus distale et multiple par rapport aux autres patients amputés. Les amputations trans-métatarsiennes sont majoritaires, suivies des amputations tibiales, fémorales, et plus rarement des désarticulations de hanche. Dans une étude prospective s'intéressant à sujets diabétiques amputés de membre inférieur, le taux cumulé de décès hospitalier ou de réamputation après un suivi de 3 ans post-amputation était de 50 %, ce qui souligne la gravité de l'amputation chez le patient diabétique (3).

### **b) Complications de l'amputation**

Lors de la marche, les personnes amputées de membre inférieur passent plus de temps en appui sur le membre sain que sur le membre amputé (4). De plus l'appui sur le membre sain aurait aussi une force de réaction au sol plus grande (5). Cette asymétrie d'appui en terme de durée et de force prédispose l'amputé de membre inférieur à des déficiences musculo-squelettiques secondaires de trois types : arthrose, ostéoporose/ostéopénie au niveau du membre amputé et lombalgies (6). Les patients amputés sont plus à risque de développer de l'arthrose à la fois sur le membre sain et sur le membre amputé par rapport à la population



générale. L'arthrose a toutefois une prévalence plus importante au niveau du membre amputé, au niveau du genou et de la hanche. Les amputés sont ainsi plus sujets aux douleurs (7).

## **II. Marche et amputation**

L'acquisition d'une marche indépendante et fonctionnelle est l'enjeu majeur de la rééducation de l'amputé de membre inférieur. La marche est un facteur d'indépendance, de qualité de vie et de réinsertion professionnelle (8). Les facteurs de bons pronostics pour le retour à la marche après une amputation sont les suivants: fonctions cognitives préservées, appui unipodal sur le membre sain possible, indépendance dans les activités de la vie quotidienne et mobilité préopératoire conservée (9). Dans cette même étude (9), la cause de l'amputation et le sexe du sujet ne semblent pas intervenir dans le pronostic de la reprise de la marche. Chez le sujet sain, il existe un haut niveau de symétrie entre les deux membres inférieurs, quel que soit le côté dominant (10). Chez le sujet amputé, la marche présente des caractéristiques différentes de celle du sujet sain. Tout d'abord, la vitesse de marche est plus lente chez les amputés par rapport aux sujets non amputés et est plus faible chez l'amputé trans-fémoral par rapport au trans-tibial (11). D'autre part, le temps d'appui monopodal est raccourci du côté amputé ; le pas prothétique est plus long que le pas non prothétique et aussi plus long que chez les sujets sains. Enfin, la largeur des pas est plus grande que dans la population générale.

## **III. Posturographie et amputation**

Une revue de la littérature a mis en évidence une forte association entre l'équilibre après amputation et capacités de marche (12). Les données posturographiques en position debout statique chez l'amputé de membre inférieur sont les suivantes : le centre de pression est déplacé sous le membre inférieur sain ; il existe des oscillations du CP plus grandes sur l'axe sagittal que sur l'axe latéral (13,14); l'amplitude et la vitesse du CP sont plus grandes sous le membre sain. Ces caractéristiques représentent une compensation commune des amputés en

position debout. Ses stratégies compensatoires donnent au membre sain un rôle actif et majeur dans le maintien de l'équilibre.

#### **IV. Objectifs**

La confection des prothèses pour patients amputés de membre inférieur est souvent réalisée de manière empirique. Dans une revue de littérature reprenant les paramètres biomécaniques et physiologiques utilisés pour analyser l'équilibre des amputés (15), sur 89 articles sélectionnés, il n'existe pas d'études antérieures dont l'objectif est d'étudier la pertinence des paramètres d'analyse de l'équilibre chez l'amputé. Les paramètres les plus utilisés sont : les paramètres spatiotemporels (vitesse, longueur du pas, longueur de la foulée, cadence, durée de la phase oscillante), cinématiques (angle de genou, angle de cheville, moment de genou, moment de cheville), cinétiques (force de réaction au sol verticale ou antéropostérieure), et physiologiques. Il n'existe donc pas de consensus pour utiliser tel ou tel critère objectif dans l'évaluation. Les évaluations instrumentales de l'équilibre et de la marche commencent à être intégrées en pratique courante à l'évaluation de l'amputé appareillé. Ces mesures pourraient permettre de mieux évaluer les résultats de l'appareillage et d'en guider le suivi. Pour cela il est nécessaire de s'assurer de la fiabilité des évaluations. Ce travail de thèse a pour objectif d'analyser la reproductibilité des paramètres posturographiques et spatiotemporels du pas chez l'amputé de membre inférieur appareillé.

## **MATERIELS ET METHODES**

### **I. Participants**

#### **a) Modalité de sélection**

Les participants étaient issus de l'unité de rééducation des amputés et pathologies vasculaires périphériques de l'Institut de Rééducation du CHU de Grenoble et plus particulièrement de la consultation d'appareillage. Les évaluations ont été réalisées entre mai et juillet 2012. Les critères d'inclusion étaient : patient amputé de membre inférieur quelle que soit l'étiologie de l'amputation, capable de tenir en position debout plus de trente secondes sans aide technique. Les critères de non inclusion étaient : amputation bilatérale, douleur ou plaie du membre résiduel, trouble neurologique (cognitif ou moteur), trouble visuel non corrigé, trouble vestibulaire, trouble orthopédique. Un interrogatoire était réalisé, le sujet précisait âge, sexe, taille, poids, date, niveau et cause de l'amputation, type d'appareillage (provisoire/définitif, pied, genou, manchon).

#### **b) Caractéristiques des participants**

Vingt sujets amputés d'âge moyen 63,1 ans (43-90 ans), appareillés depuis en moyenne 4,1 ans (2 mois-35 ans) ont été appariés en âge et en sexe à 20 sujets contrôles. Leurs caractéristiques sont présentées en tableaux 1 et 2. L'étiologie de l'amputation comprenait en majorité des pathologies vasculaires (artériopathie oblitérante des membres inférieurs, diabète, 12 patients) mais aussi traumatiques (4 patients), septiques (3 patients) et tumorale (1 patient). Les sujets contrôles ont été recrutés parmi le personnel ou l'entourage du personnel de l'Institut de Rééducation (n= 15) et les patients du service de Rééducation cardiaque (n= 5).

**Tableau 1. Caractéristiques des participants.** Valeur moyenne  $\pm$  déviation standard; valeurs extrêmes ou pourcentage entre parenthèses. PPA-LCI : Profil Prothétique de la personne Amputée – Index des Capacités Locomotrices. TUG : Timed Up and Go test. Sat Pro : échelle de satisfaction de la prothèse.

	Patients	Témoins
Age (années)	63,1 $\pm$ 13,1 (39-90)	62,8 $\pm$ 9,1 (52-79)
Sexe (masculin)	17 (85%)	17 (85%)
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	24,6 $\pm$ 3,8 (18-34)	24,3 $\pm$ 2,8 (18-29)
Amputation		
trans-tibiale	13 (65%)	-
trans-fémorale	7 (35%)	-
Latéralité de l'amputation (droite)	12 (60%)	-
Délai depuis amputation (mois)	49,8 $\pm$ 94,3 (2-428)	-
Canne béquille en extérieur	6 (30%)	-
PPA-LCI ( /42)	38,75 $\pm$ 2,7 (32-42)	-
Sat Pro (%)	64,3 $\pm$ 6,1 (53-76)	-
TUG (secondes)	15,6 $\pm$ 4,4 (9,8-25,1)	-
Test des 2 minutes (mètres)	124,6 $\pm$ 30,8 (60-180)	-

**Tableau 2. Caractéristiques d'appareillage des patients** (numérotés de 1 à 20). TF: trans-fémoral ; TT: trans-tibial ; G: gauche ; D: droite ; P: provisoire ; D: définitive.

	Amputation	Côté	Délai (mois)	Etiologie	Emboiture	Prothèse	Manchon	Genou	Pied
1	TF	G	12	traumatique	D	contact	silicone	C leg	Triton classe 3
2	TF	D	72	septique	D	contact	silicone	C leg	Trias classe 2
3	TF	D	428	tumorale	D	contact	silicone	C leg	Triton classe 3
4	TT	D	12	vasculaire	D	contact	copolymère	/	Sach
5	TT	G	15	traumatique	D	contact	copolymère	/	Variflex classe 3
6	TT	G	29	septique	D	contact	copolymère	/	Trias classe 2
7	TT	D	4	vasculaire	P	contact	copolymère	/	Sach
8	TT	D	25	vasculaire	P	contact	copolymère	/	Sach
9	TF	D	7	septique	D	contact	silicone	C leg	Triton classe 3
10	TT	G	67	vasculaire	D	contact	copolymère	/	Trias classe 2
11	TT	D	23	vasculaire	D	contact	copolymère	/	Sach
12	TT	D	33	traumatique	D	contact	copolymère	/	Sach
13	TT	D	132	vasculaire	D	contact	copolymère	/	Multiflex classe 1
14	TF	G	9	vasculaire	P	contact	silicone	3R60	Sach
15	TT	G	27	vasculaire	D	contact	copolymère	/	Sach
16	TT	G	8	vasculaire	P	contact	copolymère	/	Sach
17	TF	D	53	vasculaire	D	contact	silicone	3R60	Trias classe 2
18	TT	D	25	vasculaire	D	contact	copolymère	/	Sach
19	TT	G	12	vasculaire	D	contact	copolymère	/	Sach
20	TF	D	2	traumatique	P	contact	silicone	SNS	Sach

## **II. Evaluation**

### **a) Evaluation clinique**

Les capacités des amputés ont été évaluées par deux tests fonctionnels (Timed Up and Go test et test de marche des 2 mn) et un auto-questionnaire évaluant l'autonomie avec prothèse (Profil Prothétique de la personne Amputée - Index des Capacités Locomotrices). La satisfaction des amputés pour leur appareillage était évaluée par l'échelle de satisfaction de la prothèse (SatPro). Ces évaluations sont détaillées ci-dessous.

#### ***Timed Up and Go test***

Le Timed Up and Go test (TUG) est un test facile et rapide à réaliser. C'est un test clinique générique d'évaluation des capacités fonctionnelles d'équilibre et de marche beaucoup utilisé en pathologie neurologique et gériatrique (16). Cet outil est aussi validé chez l'amputé (17). Le TUG consiste à chronométrer le temps mis pour se lever d'une chaise, marcher à vitesse de confort sur trois mètres, retourner à la chaise, en faire le tour, et se rasseoir. Le sujet peut utiliser son aide technique habituelle si besoin. Dans notre étude, le temps moyen réalisé par l'ensemble des patients était de  $15,6 \pm 4,4$  s [9,8 ; 25,1], ces valeurs sont comparables à celle retrouvées dans la littérature pour les amputés de même âge (18,19).

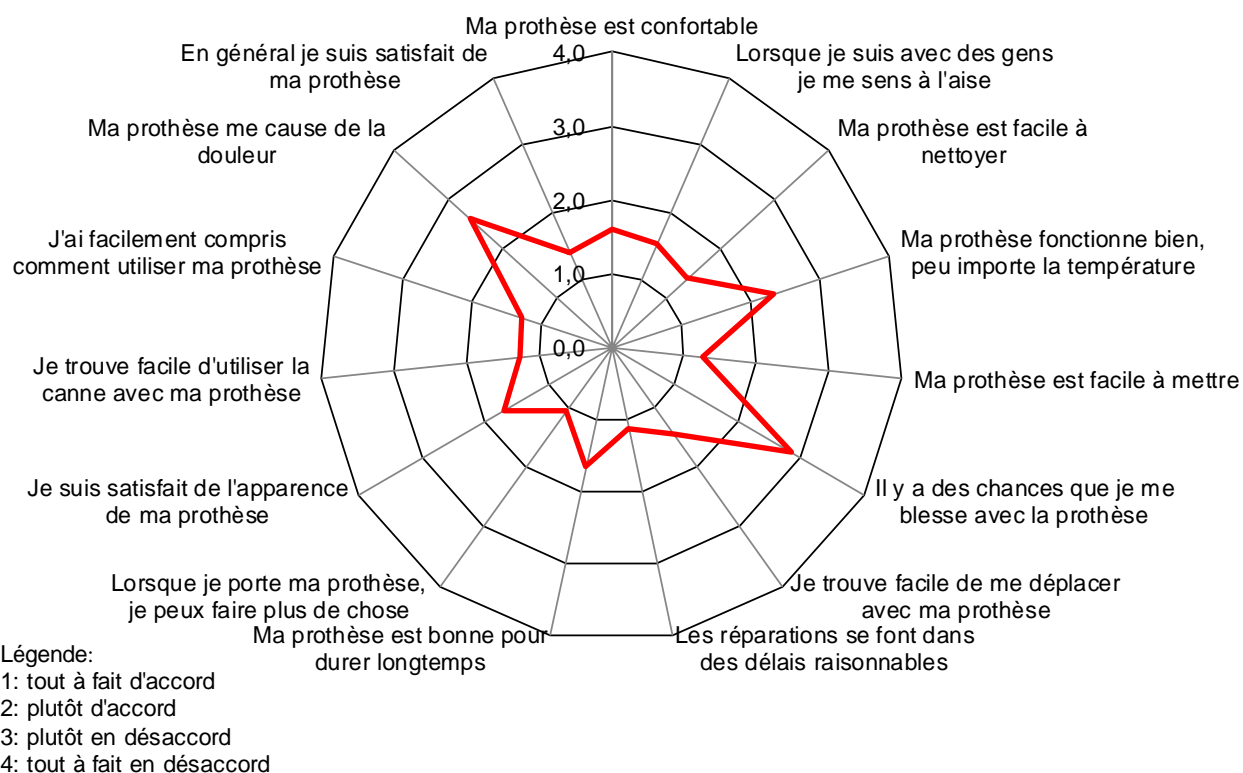
#### ***Test des deux minutes***

Le test des deux minutes (T2M) est un test clinique générique d'évaluation des capacités de marche beaucoup utilisé quelle que soit la pathologie. Cet outil facile et rapide à réaliser est validé chez l'amputé (20). Il consiste à mesurer la distance parcourue à vitesse confortable pendant 2 mn, en intérieur et sur terrain plat. L'utilisation de l'aide technique habituelle est possible si nécessaire. Dans le groupe des patients, la distance moyenne parcourue en deux minutes était de  $124,6 \pm 30,8$  mètres [60 ; 180], ce qui est en accord avec la littérature pour les amputés de même âge (18,19).

### ***Echelle de satisfaction de la prothèse***

L'échelle de satisfaction de la prothèse (Sat Pro) est un autoquestionnaire portant sur la satisfaction de la prothèse, composé des quinze items suivants (21): efficacité, facilité d'utilisation, fiabilité, durabilité, facilité d'entretien, sécurité, facilité de compréhension, acceptation personnelle, aspect de la prothèse, facilité de mise en place, compatibilité avec l'utilisation d'une canne, confort physique, rapidité de réparation par les orthoprothésistes, innocuité et satisfaction générale. Le total est un score compris entre 0 et 45, exprimé en pourcentage pour plus de lisibilité. Plus le chiffre est haut, meilleure est la satisfaction. Dans notre étude, les patients étaient en général satisfaits de leur prothèse à  $64 \pm 6$  % [53 ; 76]. On peut noter que sur l'axe des douleurs, les patients étaient moins satisfaits. Les résultats sont présentés dans la figure 1.

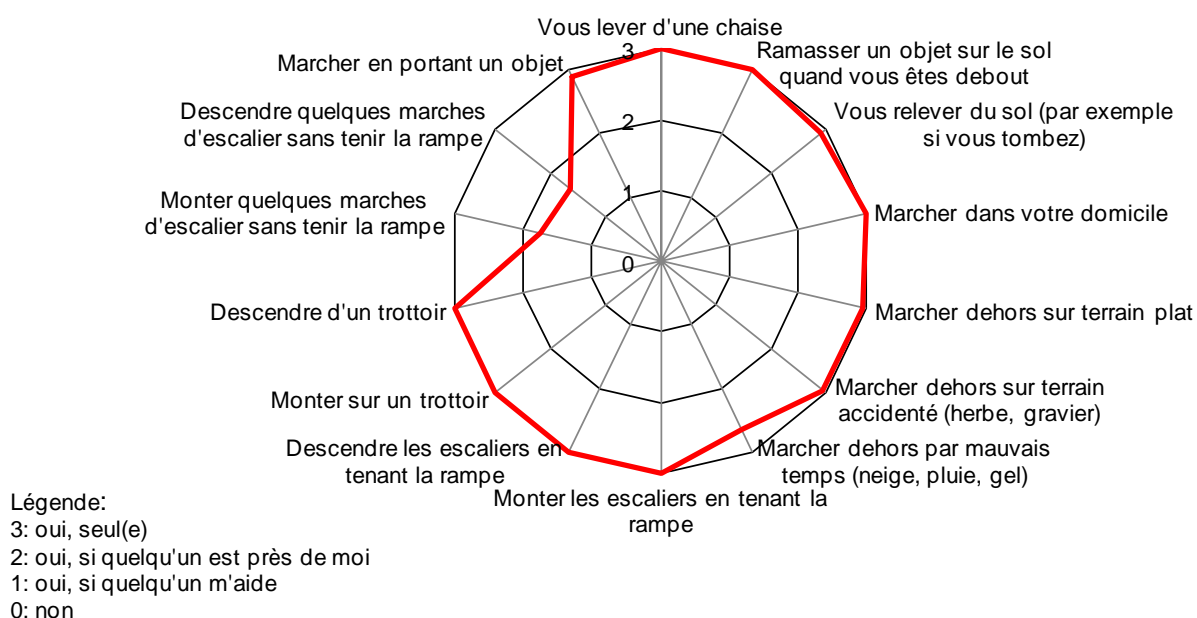
**Figure n° 1. Résultats moyens de l'échelle SatPro pour notre groupe de patients.**



### ***Index des Capacités Locomotrices issu du Profil Prothétique de la personne Amputée***

Cet autoquestionnaire validé en français chez l'amputé (22) est simple et rapide à réaliser. Il comprend quatorze items évaluant les capacités motrices du patient avec la prothèse dans les activités de la vie quotidienne. La réalisation de chaque item est cotée sur une échelle ordinale à 4 points : 0 (impossible), 1 (oui avec une aide), 2 (oui avec une supervision), 3 (oui de manière indépendante). Le score du LCI est la somme des scores de chaque item; plus le score est haut meilleures sont les capacités motrices du patient (ou moins il a de limitations fonctionnelles). Dans notre étude, les scores des patients étaient de  $38,8/42 \pm 2,7$  [33 ; 42], en accord avec la littérature (18,23–25). Les moins bons items étaient la montée et descente des escaliers sans rampe. Les données sont présentées figure 2.

**Figure n° 2. Capacités motrices des patients : résultats de l'échelle PPA-LCI**





## **b) Evaluation instrumentale**

### ***Analyse posturographique statique de la position debout***

L'analyse posturographique consiste à mesurer les déplacements du centre de pression plantaire (CP) d'une personne. Le CP correspond au point d'application au sol de la résultante des forces de réaction exercées par un sujet pour maintenir son équilibre. Cette évaluation est réalisée grâce à une plateforme de force ou une nappe de pressions plantaires. Il existe des plateformes stables et d'autres instables (ou vibrantes) pour étudier particulièrement l'équilibre postural perturbé. Souhaitant étudier l'équilibre statique, nous avons utilisé dans le travail suivant une plateforme stable : la plateforme Satel. Celle-ci se présentait sous la forme d'un monoplateau, muni de trois capteurs de pesage formant un triangle équilatéral. Les pieds étaient placés sur le plateau de manière identique pour chaque patient selon des repères dessinés sur la plateforme. Les capteurs de force mesuraient la position du CP avec une fréquence de 40 Hz. Le signal mesuré était traité avec un filtre passe bas, puis transformé grâce à une carte d'acquisition et placé sur un repère orthonormé composé d'un axe latéral et d'un axe antéro-postérieur ou sagittal. Le centre correspondait au barycentre du triangle équilatéral formé par les 3 capteurs de la plateforme. L'enregistrement avait une durée de 25,6 secondes, ce qui était en accord avec une étude de fiabilité des mesures sur plateforme de force (26) ainsi qu'avec nos pré-tests cliniques où une durée supérieure à 30 secondes semblait altérer les résultats car trop fatigante pour les patients. La plateforme était située face à un mur blanc sans repère horizontal ou vertical, une cible visuelle amovible était située sur le mur faisant face à la plate-forme soit à 90cm de celle-ci, dans l'axe horizontal du regard du sujet. La pièce n'était pas insonorisée et l'ordinateur était situé dans la pièce.

La consigne donnée au patient était « de rester debout sans bouger en position de confort les bras le long du corps en fixant la cible visuelle ». Il effectuait six enregistrements successifs, entrecoupés de pause si nécessaire pour atténuer l'effet fatigue.

De nombreux paramètres posturaux peuvent être obtenus par l'intermédiaire d'une plateforme de force. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à ceux issus des caractéristiques

spatio-temporelles de la trajectoire du CP. La position moyenne du centre de pression CP sur l'axe latéral et la position moyenne du CP sur l'axe sagittal, exprimées en mm, sont des paramètres de position du CP. Pour plus de lisibilité, la position moyenne sur l'axe latéral a été convertie en pourcentage d'appui du côté sain, une déviation de 10 mm du CP du côté sain correspondant à un pourcentage du poids du corps de 5% en plus sur ce même côté (27). La vitesse moyenne du CP est le rapport entre la distance totale parcourue par le CP et le temps d'enregistrement, exprimée en  $\text{mm.s}^{-1}$ . Il s'agit d'une vitesse modulaire. La surface est l'aire couverte par la trajectoire du CP, avec un intervalle de confiance de 90%, exprimée en  $\text{mm}^2$ . La vitesse du CP, la surface du CP, la distance sur l'axe latéral (distance totale parcourue par le CP selon l'axe latéral, en mm), et la distance sur l'axe sagittal (distance totale parcourue par le CP selon l'axe sagittal, en mm) sont des paramètres de dispersion du CP.

### *Analyse spatio-temporelle du pas*

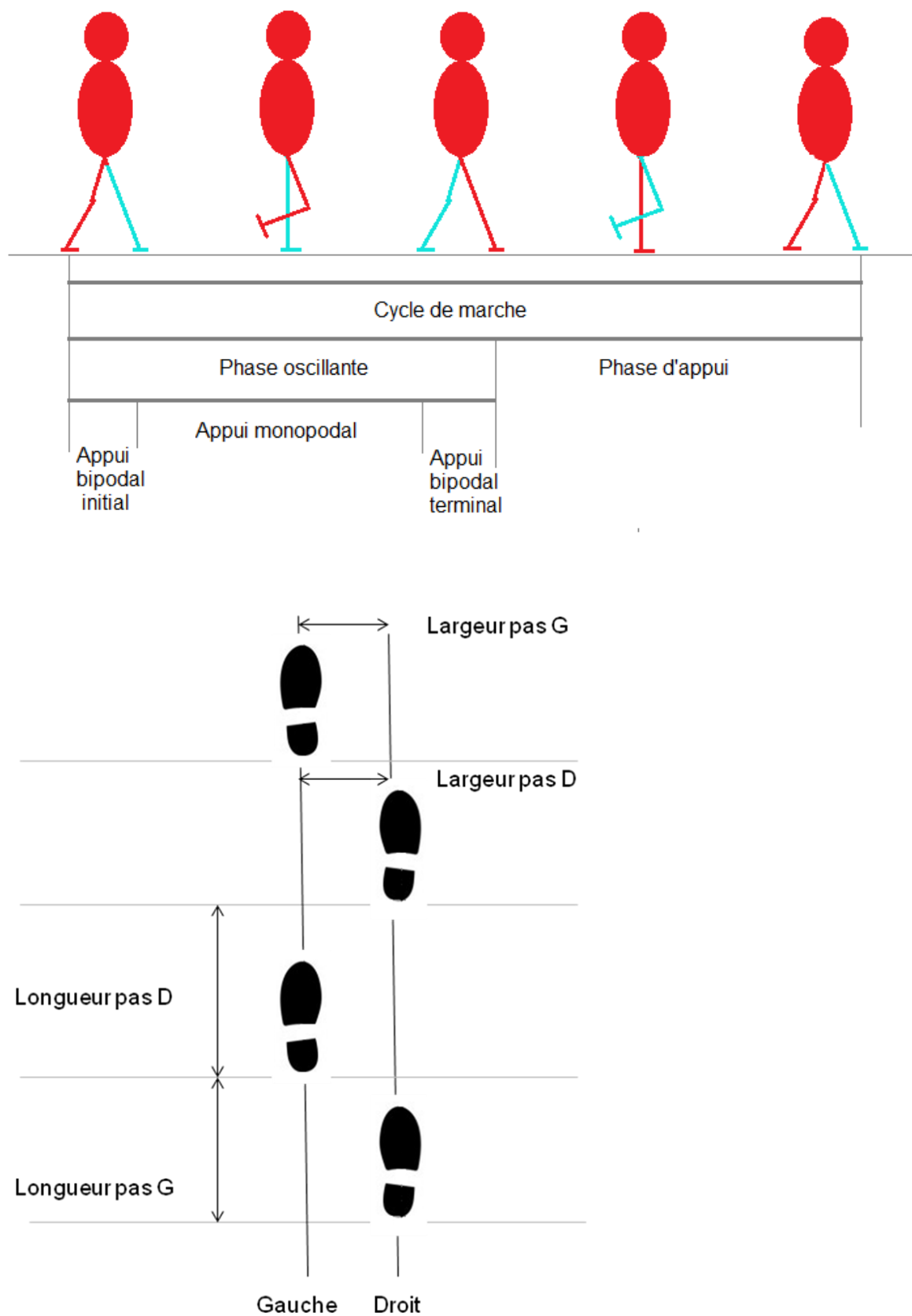
Les paramètres spatiotemporels du pas ont été mesurés grâce à un système d'analyse de la marche par détection optique (Optogait). Cet outil est composé d'une série de barres émettrices et d'autres réceptrices, chacune des barres contenant 100 leds espacées de 1 cm. Les leds positionnées sur la barre émettrice envoient en permanence un signal reçu par des capteurs sur la barre réceptrice. Lorsque le sujet pose le pied par terre, le système détecte une absence de signal et transforme cette interruption grâce à une interface. Il est ainsi possible de mesurer les différents paramètres spatiotemporels du pas.

La consigne donnée au patient était de « marcher sur une distance de dix mètres, à vitesse confortable avec un balancement normal des bras ». Les patients effectuaient six mesures entrecoupées de pause si nécessaire. Aucun d'entre eux n'a eu à utiliser d'aide technique.

Neuf paramètres ont été étudiés dans ce travail (Figure 3) : 5 paramètres temporels (vitesse de marche, cadence du pas, temps d'appui monopodal sain et amputé, et temps d'appui bipodal) ainsi que 4 paramètres spatiaux (largeur et longueur des pas sain et amputé). Dans tout le

travail, le pas sain des patients correspond au pas gauche des sujets contrôles et le pas amputé correspond au pas droit (tous les sujets contrôles sont droitiers). La vitesse de marche était le rapport entre la distance totale parcourue et le temps d'enregistrement (en  $\text{m.s}^{-1}$ ) ; la cadence correspondait au nombre de pas effectués par minute, un pas représentant la moitié d'une foulée (en  $\text{pas.mn}^{-1}$ ) ; le temps d'appui monopodal droit était défini comme la durée de la phase d'appui du pas droit alors que le pas gauche était en phase oscillante; le temps d'appui bipodal était défini comme la durée où les deux pas touchaient le sol simultanément ; la largeur du pas était définie comme la distance entre le milieu des deux talons ; la longueur du pas droit était définie comme la distance entre l'attaque du talon du pied gauche et l'attaque du talon du pied droit (en cm). Les distances étaient exprimées en centimètre et les durées en secondes.

**Figure n° 3. Paramètres spatiotemporels du pas**



### **III. Analyse statistique**

Les données ont été exprimées sous la forme de moyenne  $\pm$  SD [minimum; maximum] pour les variables quantitatives et en nombre (%)  $\pm$  SD pour les variables qualitatives. Sur les figures, les données ont été exprimées sous forme de diagrammes en boîte, avec au centre la médiane, puis le 1er et 3ème quartile suivies des valeurs extrêmes. Les données ont été traitées grâce au logiciel de statistiques NCSS. La mesure de la reproductibilité a été faite sur les six essais pour chaque paramètre étudié par le calcul du coefficient de variation ou CV (rapport entre la moyenne et l'écart-type exprimé en pourcentage). Les CV sont considérés comme excellents inférieurs à 5%, bons compris entre 5 et 15%, acceptables compris entre 15 et 25%, mauvais au-delà de 25%. Le calcul du CV de la position moyenne sagittale n'a pas pu être réalisé en raison d'une aberration mathématique. Pour l'âge et le sexe, les groupes ont été comparés avec le test de Mann-Whitney U. Les données des patients ont été comparées de manière non paramétrique avec les données des sujets témoins en utilisant le test de Mann-Whitney U. Des analyses de corrélation entre les données cliniques et les coefficients de variation ont été réalisées grâce au test des corrélations de Spearman. Des valeurs de  $p < 0,05$  sont considérées comme statistiquement significatives. Les différences de dispersion entre les groupes étaient testées par le test de Kolmogorov-Smirnov.

### **IV. Ethique**

Cette étude est une étude observationnelle car il n'y a pas eu d'intervention spécifique. Les évaluations posturographiques et spatio-temporelles du pas sont réalisées en pratique courante chez les patients amputés de membre inférieur. Conformément à la réglementation française, ce travail n'a pas été soumis au CPP.

## **RESULTATS**

### **I. Appariement des groupes**

Les groupes Patients et Témoins sont appariés en âge ( $Z$  value=-0,49,  $p=0,63$ ) et en sexe (3 femmes et 17 hommes dans chaque groupe).

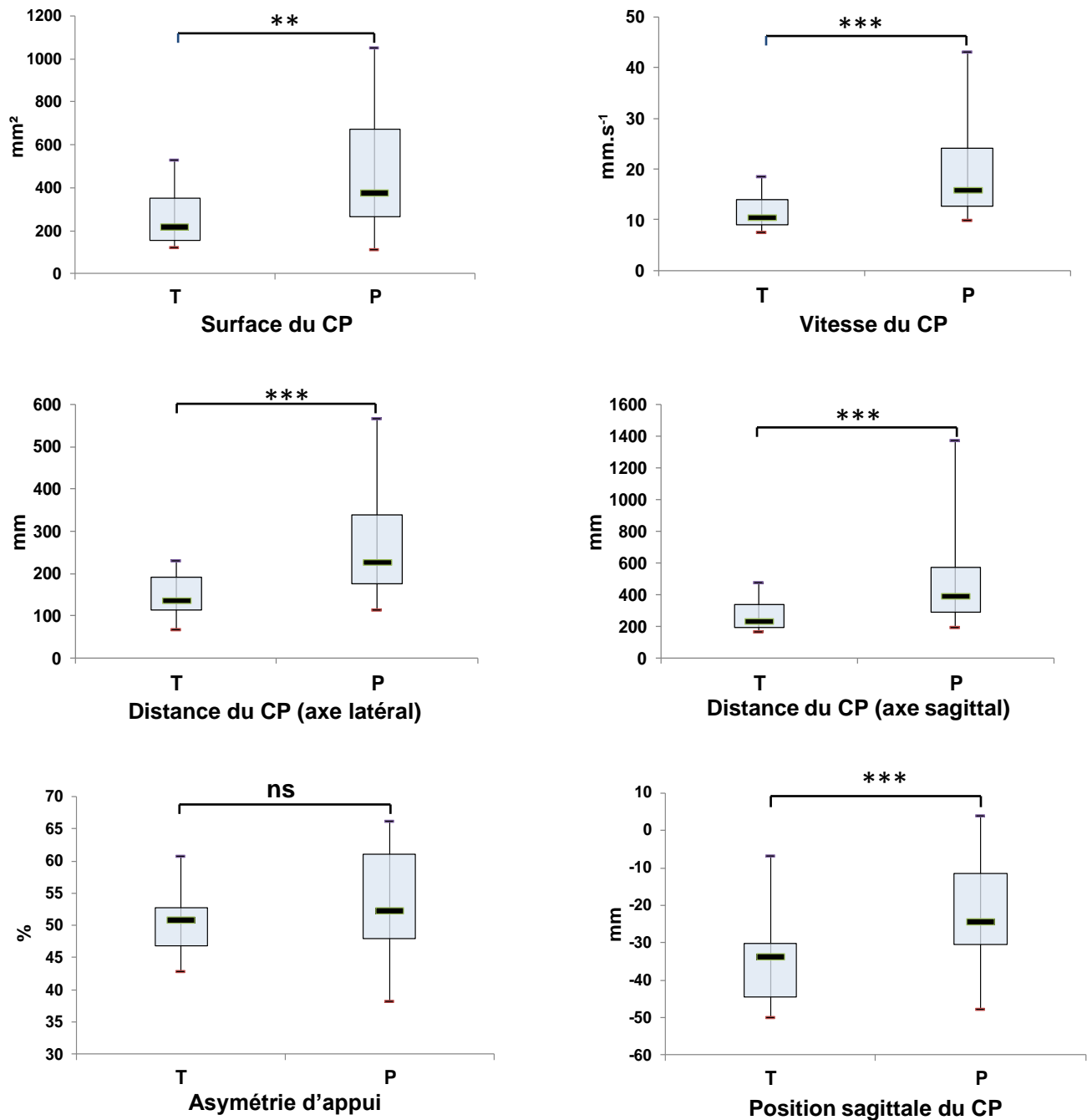
### **II. Comparaison des paramètres posturographique et spatiotemporels du pas**

#### **a) Paramètres posturographiques**

Les données sont représentées dans la figure 4. Tous les paramètres étaient statistiquement différents entre les patients et les témoins, à l'exception du pourcentage d'appui. La surface moyenne était plus grande chez les patients que chez les témoins ( $p=0,003$ ) et ce paramètre avait une dispersion plus grande chez les patients ( $p=0,004$ ). La vitesse moyenne du CP était plus grande chez les patients ( $p<0,001$ ), avec une dispersion également plus grande ( $p=0,004$ ). Les distances du CP parcourues sur l'axe latéral et sagittal étaient plus grandes pour les patients ( $p<0,001$ ) avec une dispersion aussi plus grande chez les patients ( $p=0,001$  sur l'axe latéral et  $p=0,004$  sur l'axe sagittal). La position moyenne du CP sur l'axe sagittal se situait du côté postérieur pour la majorité des patients ainsi que chez tous les sujets contrôles. La position était chez les patients moins postérieure ( $p=0,001$ ) avec une dispersion significativement plus grande ( $p=0,001$ ). Le pourcentage d'appui du côté sain chez les patients était légèrement supérieur au pourcentage d'appui du côté droit chez les témoins mais sans différence significative ( $p=0,20$ ), ni de différence dans la dispersion ( $p=0,34$ ).

En conclusion, le CP avait des paramètres de dispersion plus élevés chez les patients que chez les témoins, traduisant une plus grande instabilité posturale chez les premiers. La position du CP est quant à elle plus antérieure chez les patients que chez les témoins et il n'y a pas de différence significative dans la position latérale. L'asymétrie d'appui en position debout n'est donc pas retrouvée dans cette analyse posturographique statique.

## Comparaison des données posturographiques



**Figure n° 4. Comparaison des données posturographiques.** T : témoins, P : patients. La valeur de p est notée pour chaque graphique : \* pour  $p < 0,05$ , \*\* pour  $p < 0,01$ , \*\*\* pour  $p < 0,001$ , ns pour  $p > 0,05$ . L'asymétrie d'appui est exprimée en pourcentage d'appui du côté sain chez les patients et du côté droit chez les témoins. Les valeurs notées dans les diagrammes en boîte correspondent à la médiane, aux 1er et 3ème quartiles et aux valeurs minimum et maximum.

### **b) Paramètres spatiotemporels du pas**

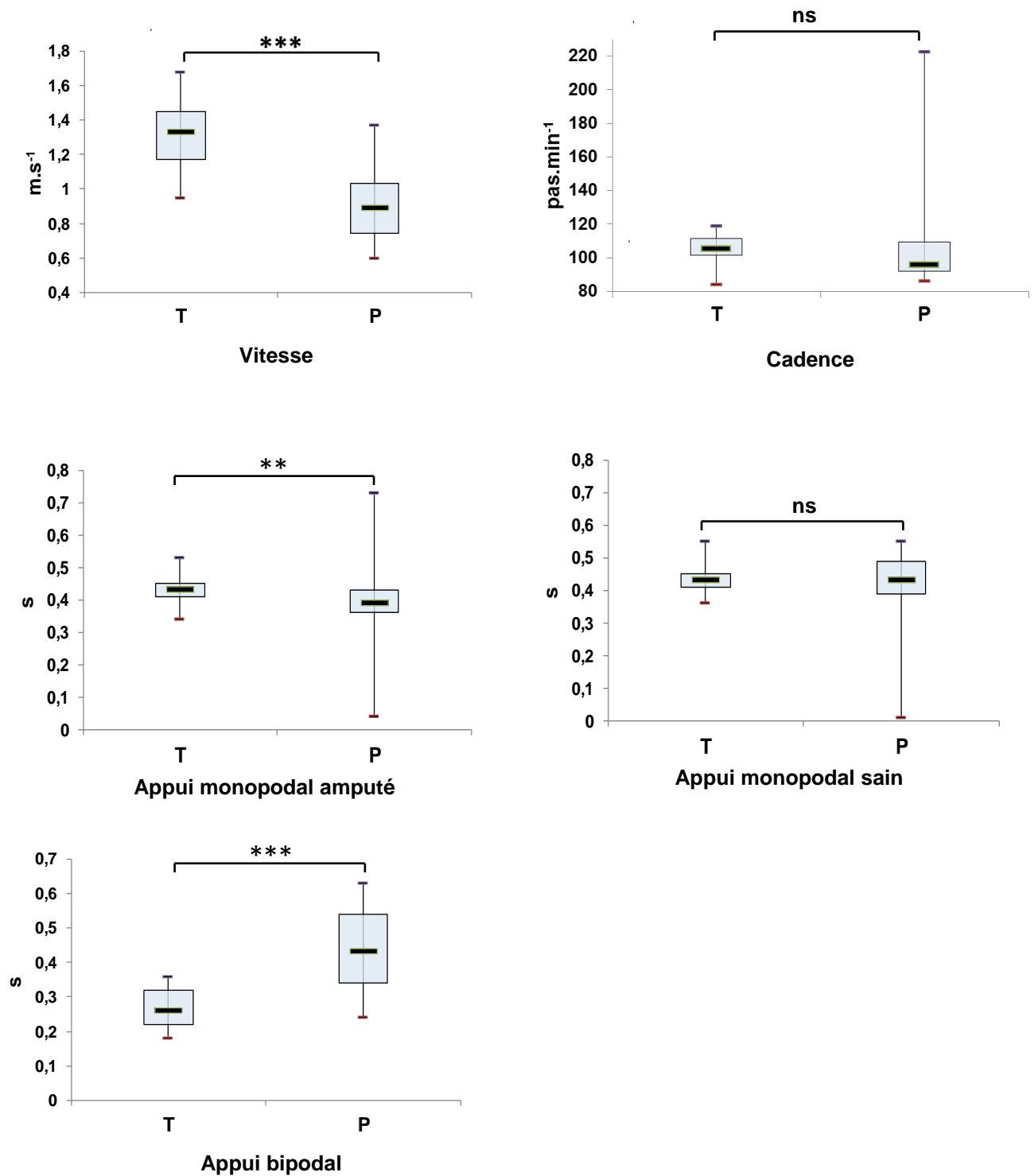
Les données sont représentées figures 5 et 6. Chez les patients la vitesse de marche était significativement plus faible que chez les témoins ( $p < 0,001$ ) et la cadence était similaire entre patients et témoins. La dispersion pour ces deux paramètres était statistiquement plus grande chez les patients ( $p < 0,001$  et  $p = 0,05$ ). Chez les patients, le temps d'appui monopodal du côté amputé était plus faible que le temps d'appui monopodal du pas droit des témoins ( $p = 0,009$ ) avec une dispersion plus grande chez les patients ( $p = 0,01$ ). Le temps d'appui monopodal du côté sain n'était cependant pas différent par rapport au pas gauche des témoins ( $p = 1,00$ ), sans différence de dispersion ( $p = 0,57$ ). Le temps d'appui bipodal était lui significativement plus long chez les patients ( $p < 0,001$ ) avec une dispersion aussi plus grande ( $p < 0,001$ ).

Chez les patients, la largeur du pas amputé était semblable à celle du pas sain et chez les témoins la largeur du pas droit et gauche était similaire. La largeur du pas amputé était plus grande que celle du pas droit chez les témoins ( $p < 0,001$ ) avec une dispersion plus élevée ( $p < 0,001$ ). De même la largeur du pas sain chez les patients était plus grande que la largeur du pas gauche chez les témoins ( $p = 0,001$ ) avec aussi une dispersion aussi plus grande ( $p < 0,001$ ). La longueur moyenne du pas du côté amputé était environ deux centimètres supérieure à celle du côté sain alors que la longueur du pas droit et gauche chez les témoins était similaire. La longueur du pas amputé était plus faible que le pas droit chez les témoins ( $p < 0,001$ ), de même que la longueur du pas sain était inférieure par rapport au pas gauche des témoins ( $p < 0,001$ ). La dispersion était plus grande chez les patients pour ces deux paramètres ( $p < 0,001$ ).

En résumé, les paramètres spatiotemporels du pas étaient quasiment tous différents entre les amputés et les témoins. Chez les patients, la vitesse de marche était ralentie, les pas étaient plus larges et plus courts et le temps d'appui sur le membre prothétique était raccourci alors que le temps d'appui bipodal était allongé. Seuls la cadence, le temps d'appui monopodal sur le membre sain et la longueur du pas sain n'étaient pas différents entre patients et contrôles.

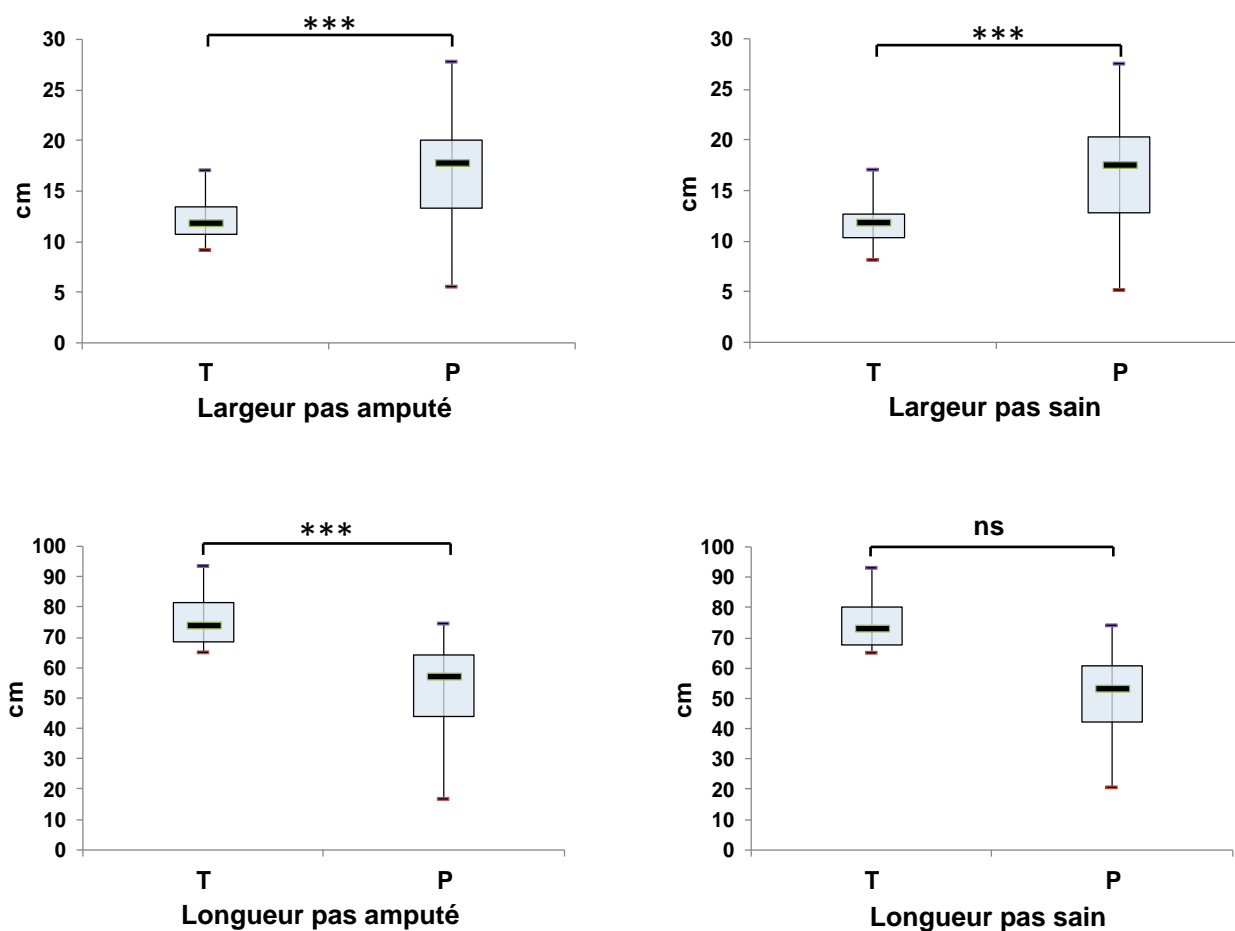


## Comparaison des données temporelles du pas



**Figure n°.5 Comparaison des données temporelles du pas.** T : témoins, P : patients. La valeur de p est notée pour chaque graphique: \* pour  $p < 0,05$ , \*\* pour  $p < 0,01$ , \*\*\* pour  $p < 0,001$ , ns pour  $p > 0,05$ . Le côté sain chez les patients correspond au côté gauche chez les témoins. Les valeurs notées dans les diagrammes en boîte correspondent à la médiane, aux 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles et aux valeurs minimum et maximum.

## Comparaison des données spatiales du pas



**Figure n° 6. Comparaison des données spatiales du pas.** T : témoins, P : patients. La valeur de p est notée pour chaque graphique: \* pour  $p < 0,05$ , \*\* pour  $p < 0,01$ , \*\*\* pour  $p < 0,001$ , ns pour  $p > 0,05$ . Le côté sain chez les patients correspond au côté gauche chez les témoins. Les valeurs notées dans les diagrammes en boîte correspondent à la médiane, aux 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles et aux valeurs minimum et maximum

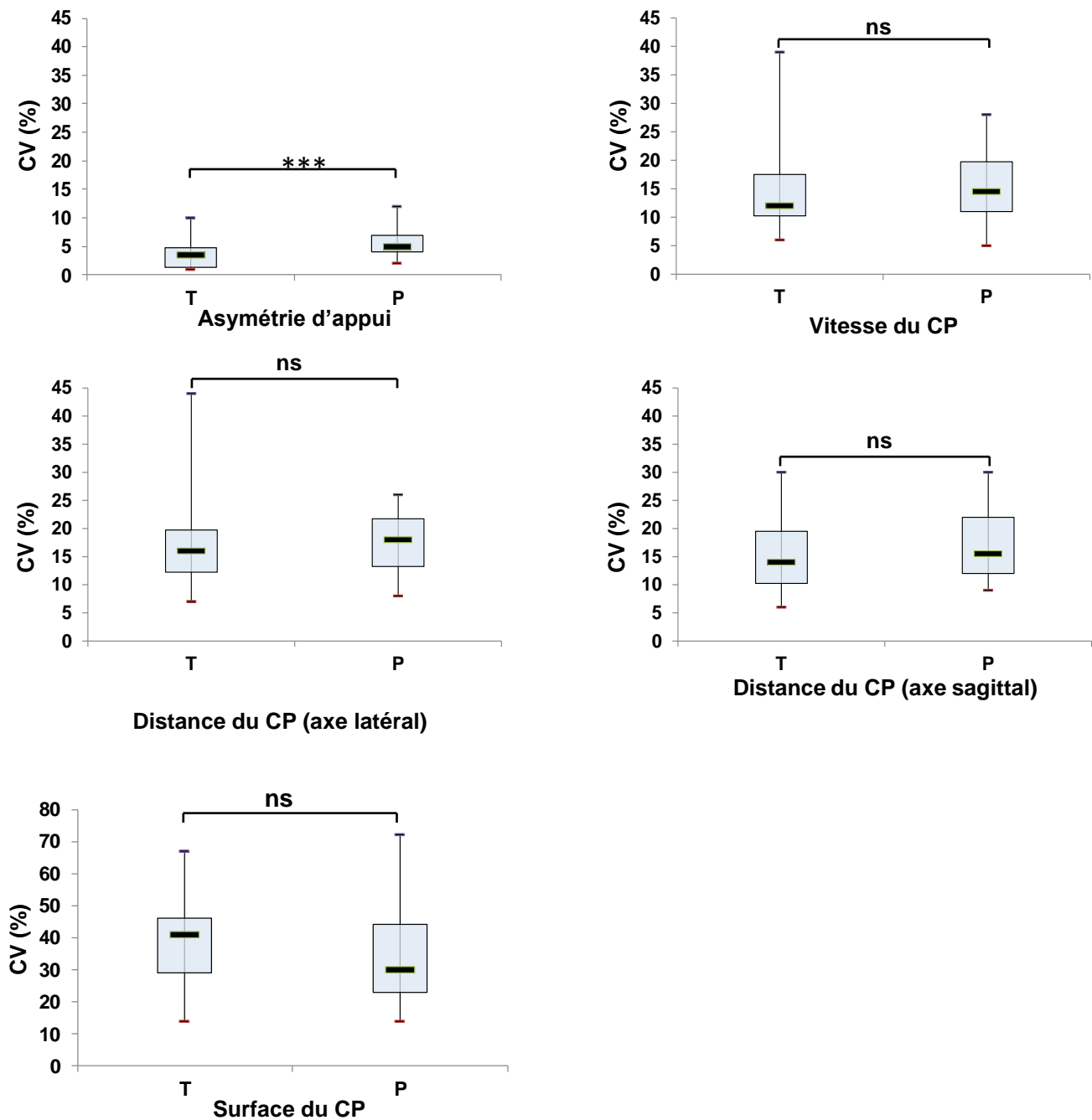
### **III. Reproductibilité des paramètres posturographiques et spatiotemporels du pas**

#### **a) Paramètres posturographiques**

Les données sont représentées dans la figure 7. Le coefficient de variation (CV) du pourcentage d'appui était excellent pour l'ensemble des participants, mais encore meilleur chez les témoins ( $p=0,001$ ). Le CV était bon pour la vitesse du CP autour de 15% ( $p=0,47$ ). Les CV étaient acceptables à la fois chez les patients et les témoins concernant la longueur du CP parcourue sur l'axe latéral ainsi que pour la longueur du CP parcourue sur l'axe sagittal, sans différence entre les deux groupes ( $p=0,54$  et  $p=0,37$ ). Le CV pour la surface était supérieur à 30%, à la fois chez les patients et chez les témoins ( $p=0,14$ ), ce qui traduisait une mauvaise reproductibilité.

Les paramètres posturographiques pouvaient donc être considérés comme reproductibles chez les patients amputés, avec une reproductibilité excellente pour le pourcentage d'appui et une bonne reproductibilité pour les paramètres de dispersion. La reproductibilité du pourcentage d'appui était statistiquement meilleure que celle des autres paramètres posturographiques ( $p<0,001$ ). La reproductibilité était mauvaise pour la surface, ce n'était donc pas un bon paramètre posturographique.

## Reproductibilité des paramètres posturographiques



**Figure n° 7. Reproductibilité des paramètres posturographiques.** L'axe des ordonnées représente le coefficient de variation du paramètre étudié, exprimé en pourcentage. T : témoins, P : patients. La valeur de p est notée pour chaque graphique : \* pour  $p < 0,05$ , \*\* pour  $p < 0,01$ , \*\*\* pour  $p < 0,001$ , ns pour  $p > 0,05$ . Les valeurs notées dans les diagrammes en boîte correspondent à la médiane, aux 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles et aux valeurs minimum et maximum.

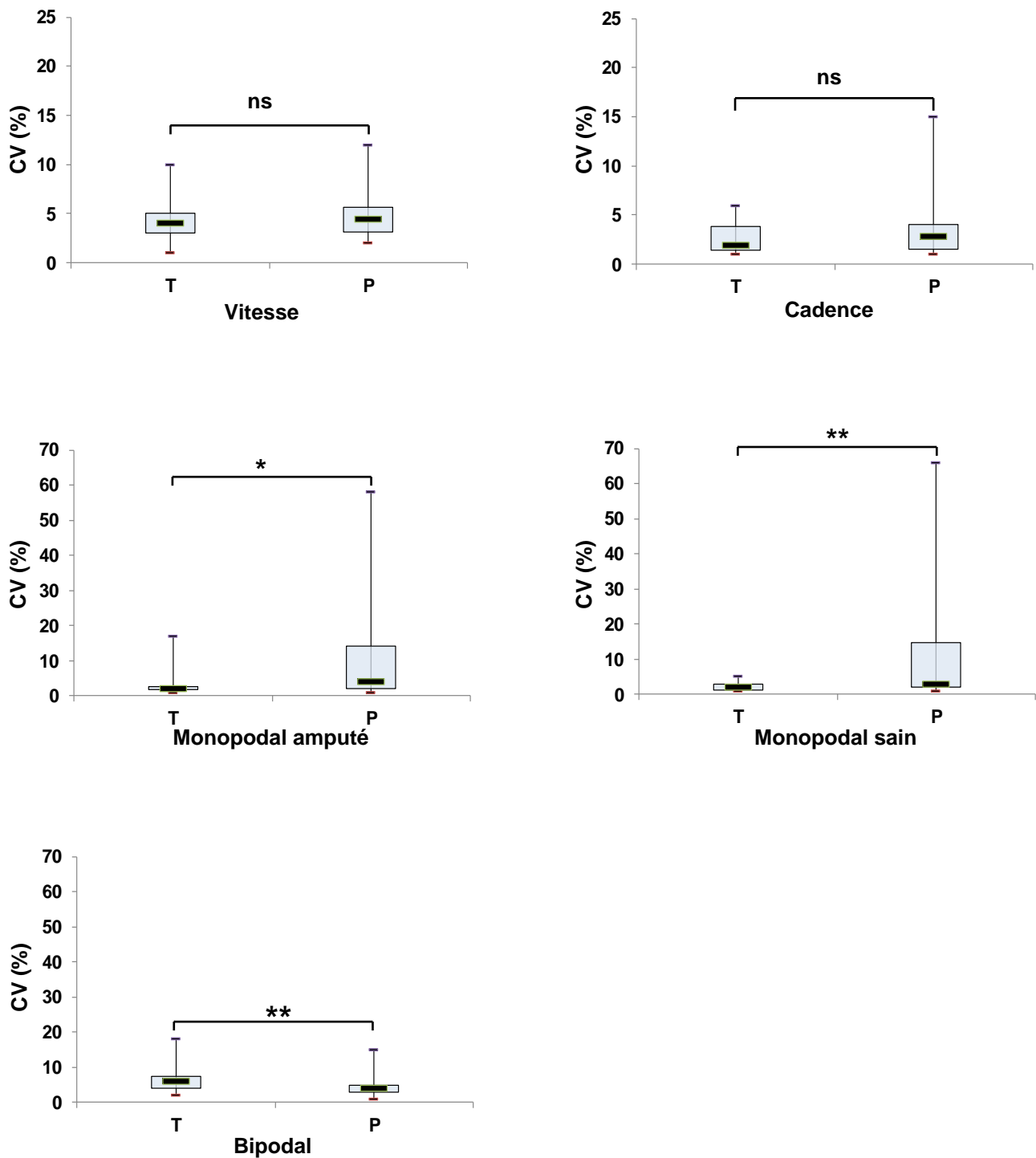
### **b) Paramètres spatiotemporels du pas**

La reproductibilité de tous les paramètres spatiotemporels était bonne voire excellente. Les données sont présentées figure 8 et 9. La reproductibilité était excellente pour l'ensemble des participants concernant les paramètres temporels tels que la vitesse de marche, la cadence du pas et le temps d'appui bipodal. Le temps d'appui bipodal avait une reproductibilité meilleure chez les patients que chez les témoins ( $p=0,01$ ). La reproductibilité était bonne pour les temps d'appui monopodaux mais cependant meilleure chez les témoins (temps d'appui monopodal côté sain :  $p=0,01$ ; temps d'appui monopodal côté amputé :  $p=0,04$ ).

La reproductibilité était excellente pour les paramètres spatiaux du pas tels que la longueur du pas sain et amputé, avec un meilleur score pour les témoins concernant la longueur du pas sain ( $p=0,01$ ). La largeur des pas avait une bonne reproductibilité sans différence entre patients et témoins.

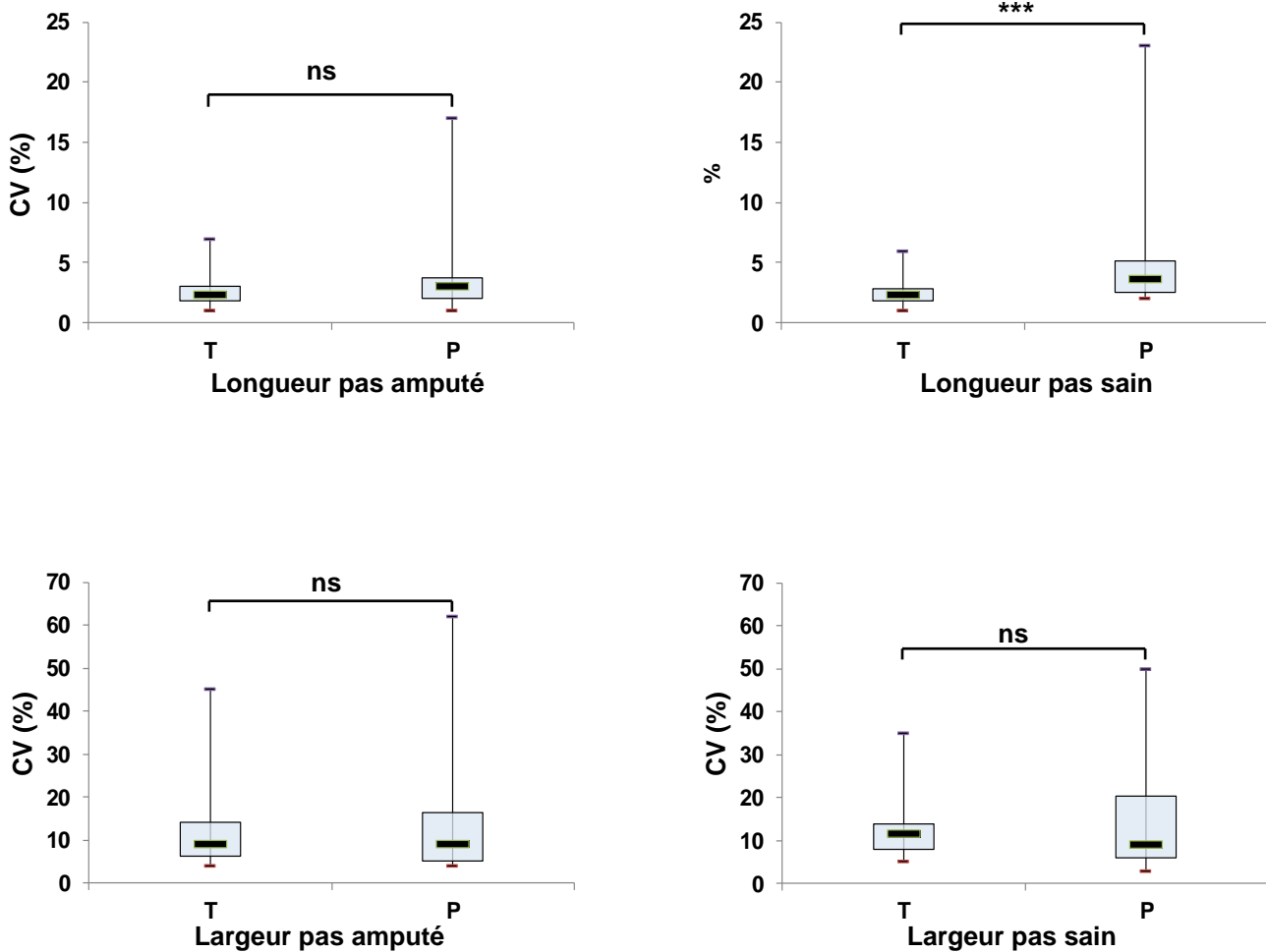
En résumé, il existait une bonne voire excellente reproductibilité de la plupart des paramètres spatiotemporels du pas chez les patients amputés. Il était notable que le temps d'appui bipodal était un paramètre plus reproductible chez les amputés que chez les témoins.

## Reproductibilité des paramètres temporels du pas



**Figure n° 8. Reproductibilité des paramètres temporels du pas.** L'axe des ordonnées représente le coefficient de variation du paramètre étudié, exprimé en pourcentage. T : témoins, P : patients. La valeur de p est notée pour chaque graphique : \* pour  $p < 0,05$ , \*\* pour  $p < 0,01$ , \*\*\* pour  $p < 0,001$ , ns pour  $p > 0,05$ . Les valeurs notées dans les diagrammes en boîte correspondent à la médiane, aux 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles et aux valeurs minimum et maximum.

## Reproductibilité des paramètres spatiaux du pas



**Figure n° 9. Reproductibilité des paramètres spatiaux du pas.** L'axe des ordonnées représente le coefficient de variation du paramètre étudié, exprimé en pourcentage. T : témoins, P : patients. La valeur de p est notée pour chaque graphique : \* pour  $p < 0,05$ , \*\* pour  $p < 0,01$ , \*\*\* pour  $p < 0,001$ , ns pour  $p > 0,05$ . Les valeurs notées dans les diagrammes en boîte correspondent à la médiane, aux 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles et aux valeurs minimum et maximum.

#### **IV. Lien entre les paramètres posturographiques et spatiotemporels du pas et les caractéristiques cliniques des patients**

##### **a) Age**

Il y avait chez les amputés une corrélation négative entre l'âge et la longueur des pas ( $r = -0,52$ ;  $p=0,02$ ), une tendance négative entre l'âge et les temps d'appui monopodaux ( $r = -0,42$  ;  $p=0,06$ ) et une tendance positive entre l'âge et le temps d'appui bipodal ( $r = 0,39$ ;  $p=0,08$ ). Il n'y avait pas d'autre corrélation entre l'âge et les données posturographiques et spatio-temporelles du pas. Il y avait une corrélation négative entre l'âge et la reproductibilité de la vitesse de marche ( $r = 0,51$ ;  $p=0,02$ ) et de la cadence ( $r = 0,47$ ;  $p=0,04$ ). L'âge intervenait peu au niveau des paramètres posturographiques et spatio-temporels du pas ainsi que dans leur reproductibilité.

##### **b) Délai depuis l'amputation**

Il n'y avait pas de corrélation entre le délai depuis l'amputation et les paramètres ou leur reproductibilité.

##### **c) Niveau d'amputation**

Il n'y avait pas de lien entre le niveau de l'amputation et les paramètres étudiés.

##### **d) Caractère provisoire de la prothèse**

Les participants équipés d'une prothèse provisoire avaient tendance en posturographie à parcourir une distance plus grande que les autres sur l'axe latéral (384mm vs 233 mm,  $p=0,06$ ). Il n'y avait pas d'autre lien entre le port d'une prothèse provisoire et les données posturographiques et spatio-temporelles. Le caractère provisoire ou définitif de la prothèse n'avait pas d'influence sur la reproductibilité des paramètres étudiés.



### **e) Utilisation d'une canne béquille (CB) en extérieur**

Les patients qui utilisaient une CB en extérieur avaient une vitesse de marche inférieure ( $0,9\text{m.s}^{-1}$  vs  $0,8\text{m.s}^{-1}$ ,  $p=0,08$ ), une largeur du pas amputé plus faible (13,8 cm vs 18,6 cm,  $p=0,08$ ) et une longueur de pas plus petite que les autres participants (pas amputé 40cm vs 59 cm,  $p=0,02$  ; pas sain 41 cm vs 56 cm,  $p=0,01$ ). Ils avaient aussi un temps d'appui monopodal du côté sain inférieur (0,27 s vs 0,44 s,  $p=0,02$ ), un temps d'appui monopodal du côté amputé inférieur (0,27 s vs 0,41 ;  $p=0,06$ ) et un temps d'appui bipodal supérieur (0,53s vs 0,40 s,  $p=0,02$ ). Concernant les données posturographiques, les patients utilisant une canne avaient tendance à appuyer plus du côté sain (58% vs 52%,  $p=0,07$ ). En conclusion, utiliser une canne béquille en extérieur était associé chez nos patients à une plus grande asymétrie d'appui, une vitesse de marche plus lente, des pas plus petits et moins larges, à des temps d'appui monopodaux raccourcis et un temps d'appui bipodal rallongé.

Les patients utilisant une CB en extérieur avaient par rapport aux autres participants une moins bonne reproductibilité de la vitesse de marche ( $p=0,007$ ), de la cadence ( $p=0,03$ ), de la largeur du pas sain ( $p=0,02$ ), de la longueur du pas sain ( $p=0,009$ ), des temps d'appui monopodaux ( $p=0,03$ ) et du temps d'appui bipodal ( $p=0,04$ ). L'utilisation d'une CB en extérieur n'influait pas la reproductibilité de la largeur du pas amputé et de la longueur du pas amputé mais influait négativement la reproductibilité des autres paramètres de marche.

### **f) Satisfaction et capacités de marche appareillée**

Il n'y avait pas de corrélation entre les échelles cliniques et les données posturographiques, mais il y avait des corrélations entre les échelles cliniques et de nombreux paramètres de marche et leur reproductibilité.

Il existait un lien fort entre la distance parcourue au T2M et certains paramètres spatio-temporels du pas : une bonne distance réalisée au T2M était associée à une bonne vitesse de marche ( $r = 0,78$  ;  $p<0,001$ ), à une bonne longueur de pas (pas sain  $r = 0,87$  ;  $p< 0,001$  ; pas

amputé  $r = 0,64$  ;  $p=0,002$ ) et à un temps d'appui bipodal plus faible ( $r = -0,75$  ;  $p<0,001$ ). D'autre part, il existait un lien robuste entre la distance parcourue au T2M et la reproductibilité de la plupart des paramètres de marche : une bonne distance parcourue au test était associée à une meilleure reproductibilité de tous les paramètres à l'exception du temps d'appui bipodal ( $r$  entre  $-0,46$  et  $-0,72$  ;  $p$  entre  $0,001$  et  $0,04$ ).

Il existait un lien solide entre le temps réalisé au TUG et certains paramètres spatio-temporels du pas : un temps faible était corrélé à une bonne vitesse de marche ( $r = -0,65$  ;  $p=0,002$ ), à une bonne longueur de pas (pas sain :  $r = -0,70$  ;  $p<0,001$  ; pas amputé :  $r = -0,52$  ;  $p=0,02$ ) et à un temps d'appui bipodal faible ( $r = 0,61$  ;  $p=0,004$ ). Il existait aussi une relation forte entre le temps réalisé au TUG et la reproductibilité des paramètres de marche : un temps faible était associé à une meilleure reproductibilité de quasi tous les paramètres ( $r$  entre  $0,60$  et  $0,75$  ;  $p$  entre  $0,001$  et  $0,004$ ).

Le score obtenu au PPA-LCI était uniquement corrélé de manière positive à la vitesse de marche ( $r = 0,66$  ;  $p=0,001$ ): plus le score était haut meilleure était la vitesse de marche.

Le taux de satisfaction à la Sat Pro n'était corrélé à aucun paramètre étudié.

Il y avait un lien fort entre le PPA LCI et le T2M ( $r = 0,51$  ;  $p=0,02$ ), une corrélation négative entre le PPA-LCI et le TUG ( $r = -0,48$  ;  $p=0,03$ ) et une corrélation négative entre le T2M et le TUG ( $r = -0,86$  ;  $p<0,001$ ).

## DISCUSSION

Ce travail avait pour objectif d'analyser la reproductibilité des paramètres d'évaluation instrumentale de l'équilibre et de la marche utilisés en pratique clinique courante chez l'amputé unilatéral de membre inférieur. Vingt patients d'âge moyen 63,1 ans, amputés unilatéraux trans-fémoraux (TF) et trans-tibiaux (TT), en moyenne à 4,1 ans de leur amputation, ont été comparés à vingt sujets témoins appariés en âge et en sexe. Les résultats montraient que la reproductibilité des principaux paramètres était bonne voire excellente, avec de meilleurs résultats pour les paramètres spatiotemporels du pas que pour les paramètres posturographiques. Ce résultat est nouveau chez l'amputé de membre inférieur. En posturographie la reproductibilité était excellente pour l'asymétrie d'appui qui était même le plus reproductible des paramètres posturographiques. La reproductibilité était bonne pour la vitesse du CP (centre de pression), acceptable pour la distance parcourue par le CP et mauvaise pour la surface du CP. Les paramètres spatiotemporels du pas avaient pour la plupart une reproductibilité excellente et le temps d'appui bipodal était plus reproductible chez les patients que chez les témoins. L'analyse des corrélations entre l'ensemble des paramètres étudiés et les capacités fonctionnelles des amputés (Timed Up and Go test ou TUG, test des 2 minutes, utilisation d'une canne béquille en extérieur) montrait que les patients les plus sévères avaient des paramètres spatiotemporels du pas moins reproductibles.

Les capacités fonctionnelles des patients étaient comparables à celles retrouvées dans la littérature pour des patients de même âge. Au TUG, le temps moyen réalisé par l'ensemble des patients était de  $15.6 \pm 4.4$  s [9.8 ; 25.1]. Pour des patients amputés de même âge, on retrouvait dans la littérature des temps de passage au TUG de même ordre de grandeur, entre 19,3 et 20 secondes (18,19). La distance moyenne parcourue au test des 2 mn était de  $124.6 \pm 30.8$  mètres chez nos patients. Ce résultat était aussi comparable aux résultats des études précédemment citées avec une distance entre 99,2 et 103 mètres (18,19). La satisfaction du groupe de patients mesurée par l'échelle Sat Pro était correcte à  $64 \pm 6$  % [53 ;

76]. Les patients étaient en particulier très satisfaits de l'efficacité, de la rapidité de réparation et de la facilité d'entretien des prothèses. Ils considéraient comme moins satisfaisantes les chances élevées qu'ils avaient de se blesser avec la prothèse ainsi que les douleurs secondaires à son port. Dans une moindre mesure venait une insatisfaction en regard de l'apparence de la prothèse, de difficultés de fonctionnement en rapport avec des températures élevées (fiabilité) ainsi qu'en regard de la durabilité des prothèses. Ces résultats étaient en accord avec l'étude de validité de la Sat Pro (21) même si la satisfaction des patients était alors plus élevée à 83,6 %. Concernant le résultat obtenu à l'auto-questionnaire sur les performances avec prothèse en vie quotidienne (PPA-LCI), le score moyen des patients était de  $38,8/42 \pm 2,7$  [33 ; 42]. Les meilleurs items étaient : se lever d'une chaise, ramasser un objet au sol, marcher dans son domicile, monter et descendre un trottoir ou un escalier avec une rampe ; les items les plus bas étaient : monter et descendre un escalier sans rampe. Ces différences sont cohérentes avec les limites de l'utilisation d'une prothèse dans les escaliers, notamment avec les prothèses fémorales. Les scores retrouvés dans la littérature sont assez variables, entre 28,5 et 41 (18,23–25). Notre groupe de patient présentait donc des capacités fonctionnelles comparables pour leur âge aux résultats trouvés dans la littérature. Ceci était en accord avec leurs capacités de marche habituelles car seulement six patients marchaient avec une canne béquille en extérieur.

Les évaluations instrumentales de l'équilibre et de la marche de l'amputé de membre inférieur ont à notre connaissance été peu étudiées dans la littérature. Ce travail apporte des résultats nouveaux sur ces évaluations. Concernant la posturographie, la répartition du poids du corps estimée grâce à la déviation moyenne latérale était chez les sujets amputés de 53,7% sur le membre sain vs 46,3% sur le membre prothétique, avec chez les sujets sains une valeur de 50,6% vs 49,4% entre le membre droit et le membre gauche. La différence entre les patients et les témoins n'était pas significative ( $p = 0,2$ ). Dans la littérature, l'asymétrie d'appui mesurée est de même ordre, allant de 55 à 63% pour l'appui sur le membre sain (13,14,28,29). Pour

Nederhand et al. (28), il n'est pas non plus retrouvé de différence significative chez les sujets sains. Dans notre groupe, seulement quatre patients appuyaient de manière prédominante sur le membre amputé, deux nous ont dit avoir dans cette position une meilleure confiance dans leur équilibre et un autre amputé nous a dit soulager la fatigue de son membre inférieur sain en privilégiant l'appui sur le membre amputé. La position des pieds que les patients devaient maintenir sur la plateforme Satel semblait inconfortable. La distance entre les talons était en effet petite et plusieurs patients nous ont rapporté que l'encombrement de la prothèse associé à cette position des pieds assez serrée perturbait leur équilibre. Ce positionnement pourrait être un biais dans l'évaluation posturographique des patients. La vitesse du CP chez nos patients était de  $19,3 \text{ mm.s}^{-1}$ . Nous n'avons pas retrouvé d'étude portant sur ce même paramètre de vitesse modulaire chez des amputés, mais ce résultat se situait autour des valeurs retrouvées pour d'autres pathologies : vitesses du CP allant de  $13,6 \text{ mm.s}^{-1}$  chez des patients présentant des troubles musculo-squelettiques (lombalgiques chroniques, atteinte du ligament croisé antérieur, instabilité de cheville) (30), à  $15,6 \text{ mm.s}^{-1}$  chez des lombalgiques chroniques (31), à  $20,7 \text{ mm.s}^{-1}$  chez des patients atteints de maladie de Parkinson (32), et jusqu'à  $36 \text{ mm.s}^{-1}$  chez des patients atteints de déficience intellectuelle légère à modérée (33). La distance parcourue par le CP était plus grande chez les amputés que chez les sujets sains (34) et la distance du CP sur l'axe sagittal était dans ce travail quasiment le double de celle parcourue sur l'axe latéral. Deux études précédemment citées ont mis en évidence que l'augmentation des oscillations du CP sur le plan sagittal ou antéro-postérieur était retrouvée sur le membre prothétique et non pas sur le membre sain, comme un moyen de compenser l'absence de membre physiologique (13,29).

Concernant la reproductibilité des paramètres posturographiques, il n'existe pas à notre connaissance d'étude chez l'amputé de membre inférieur. Nous apportons des éléments nouveaux avec ce travail, notamment cette notion que la reproductibilité du pourcentage d'appui est excellente chez l'amputé. Nous pouvons aussi comparer nos résultats avec des

études portant sur des sujets sains, les données de la littérature sont résumées dans le tableau 3. Dans notre étude, le coefficient de variation de la surface du CP était élevé ce que l'on retrouvait dans la littérature (35,36). Ce travail confirme donc que la surface n'était pas un bon paramètre reproductible, en apportant une information nouvelle pour les patients amputés. La reproductibilité de la vitesse moyenne du CP était bonne pour nos participants (CV aux alentours de 15%), résultat de même ordre de grandeur que les données existantes chez des sujets sains (36,37) sauf pour Geurtz et al. (38). La distance parcourue par le CP sur les différents axes avait une reproductibilité acceptable autour de 17%. Le paramètre le plus étudié correspondant à ce paramètre de dispersion du CP était l'amplitude du CP selon les axes sagittal et latéral. Il est notable que l'amplitude du CP avait une reproductibilité variable selon les études, plutôt bonne pour certains (36,39) et moins bonne pour d'autres (35,38).

**Tableau 3. Résumé de la littérature concernant la reproductibilité de la posturographie chez le sujet sain.** Abréviations : Nb : nombre ; CV : coefficient de variation ; ICC : coefficient de corrélation intra-classe ; AP : antéropostérieur ; ML : médio-latéral ; RMS : root-mean-square. Tous les résultats des variables ne sont pas notés dans ce tableau.

Etude	Paramètre posturographique	Nb de sujets	Nb d'essais	Mesure	Résultats
Geurtz et al. <sup>38</sup>	RMS Amplitude AP et ML RMS Vitesse AP et ML	8	10	CV	Amplitude AP 37% Amplitude ML 39% Vitesse AP 24% Vitesse ML 35%
Corriveau et al. <sup>39</sup>	RMS Amplitude AP et ML	7	9	ICC	0,79 (AP), 0,69 (ML)
Samson et al. <sup>37</sup>	Vitesse	15	10	CV	8,52%
Lafond et al. <sup>36</sup>	RMS Amplitude AP et ML Vitesse AP et ML Surface	7	1	ICC	Amplitude AP 0,52 Amplitude ML 0,62 Vitesse AP 0,83 Vitesse ML 0,94 Surface 0,41
Doyle et al. <sup>35</sup>	Amplitude AP et ML Surface	30	3	CV	Amplitude AP 38,9% Amplitude ML 32,2% Surface 19,3%

Les paramètres spatiotemporels du pas des patients et la comparaison de ces paramètres avec ceux des sujets sains étaient dans l'ensemble en accord avec la littérature. Les patients marchaient plus lentement que les sujets contrôles,  $0,89 \text{ m.s}^{-1}$  chez les patients vs  $1,33 \text{ m.s}^{-1}$  chez les sujets sains, ce qui était le cas dans d'autres études (34,40,41). La cadence du pas des patients était comparable aux travaux antérieurs (42,43). Le temps d'appui monopodal du côté prothétique était dans ce travail plus court que le temps d'appui monopodal des sujets contrôles ce qui était concordant avec le travail de Hof 2007 et *al.* (44). Le pas prothétique des patients était plus court que le pas des sujets sains et les 2 pas des patients étaient plus larges que ceux des sujets sains (43,44). Les paramètres spatiotemporels du pas des sujets contrôles étaient comparables à ceux retrouvés pour les sujets de même âge dans la littérature (45).

La reproductibilité des paramètres spatiotemporels du pas chez l'amputé a été à notre connaissance peu étudiée. Les données de la littérature sont résumées dans le tableau 4. Un des seuls travaux retrouvés est celui de Lamothe et *al.* (40) qui a mis en évidence une excellente reproductibilité de la durée du cycle de marche chez les sujets amputés avec un CV de 3,3% vs 2,2% chez les sujets contrôles, sans différence significative. Nous n'avons pas étudié ce paramètre dans cette thèse, mais nos résultats sont concordants avec une reproductibilité excellente de la longueur des pas prothétique et non prothétique. Les données seront retraitées ultérieurement pour extraire la reproductibilité de la foulée et du cycle de marche en particulier. D'autre part, la reproductibilité a été étudiée dans d'autres pathologies comme le diabète (46) et chez des enfants atteints de paralysie cérébrale (47) avec une reproductibilité excellente. La reproductibilité a aussi été étudiée chez des sujets sains d'âge varié avec d'excellents résultats pour la vitesse de marche et pour la cadence et de moins bons résultats pour la largeur des pas (48). Ces résultats sont en accord avec ceux de notre étude. Il est aussi intéressant de noter l'existence d'une étude qui a retrouvé une moins bonne reproductibilité de la vitesse de marche chez des patients d'âge plus élevé atteints de trouble cognitif léger ou « mild cognitive impairment » (49). Nous pouvons mettre en lien ce résultat

avec la corrélation négative que nous avons retrouvé entre l'âge et la reproductibilité de la vitesse de marche.

**Tableau 4. Résumé de la littérature concernant la reproductibilité des paramètres spatio-temporels du pas.** Abréviations : Nb : nombre ; CV : coefficient de variation ; MI : membre inférieur ; MCI : mild cognitive impairment. Tous les résultats des variables ne sont pas notés dans ce tableau.

Etude	Sujets	Paramètre spatio-temporel	Nb de sujets	Nb d'essais	Mesure	Résultats
Lamoth et al <sup>40</sup>	Amputés de MI	cycle de marche	8	1	CV	3,30%
Allet et al <sup>46</sup>	Diabétiques	vitesse, cadence phase d'appui double appui foulée cycle de marche	16	2	CV	<5% pour tous
Steinwender et al <sup>47</sup>	Enfants atteints de paralysie cérébrale	vitesse cadence foulée	40	10	CV	vitesse 6,6% cadence 3,9% foulée 5%
Thorpe et al <sup>48</sup>	Enfants sains (8-11 ans)	vitesse cadence longueur du pas largeur du pas appui monopodal appui bipodal	18	2	CV	vitesse 7,5% cadence 2,6% longueur pas 6,3% largeur du pas 6,2% appui monopodal 3,1% appui bipodal 7,3%
Montero Odasso et al <sup>49</sup>	Sujets > 65 ans avec MCI	vitesse longueur du pas largeur du pas durée du pas durée de la foulée double appui	13	3	CV	vitesse 16,96% longueur pas 18,26% largeur du pas 18,28% durée du pas 7,27% durée de la foulée 6,36% double appui 12,90%



Une première limite de ce travail concerne le choix que nous avons fait sur le type d'analyse des paramètres de posturographie et de marche. Il y a eu chez les amputés quelques études portant sur la stabilité des paramètres de marche mais quasiment aucune sur la reproductibilité. L'amputé appareillé nous paraît être un patient stable, qu'il faut principalement guider dans le choix de son appareillage. C'est pourquoi il nous a semblé plus cohérent d'étudier la reproductibilité des paramètres plutôt que la stabilité. Ce choix peut toutefois représenter une limite, en se privant de l'information sur la stabilité des mesures dans le temps.

De plus, dans le choix des paramètres spatiotemporels, nous avons choisi ceux s'intéressant à l'asymétrie d'appui et de marche. Il nous faudra compléter le traitement des données en analysant la reproductibilité de la foulée et du cycle de marche pour plus de précision.

Enfin, dans les mesures à proprement parler, la position des pieds trop serrée a déjà été discutée ci-dessus. Il faudrait dessiner une empreinte adaptée à l'appareillage des amputés avec une distance suffisante entre les talons pour garder une position physiologique.

## CONCLUSION

### TITRE: REPRODUCTIBILITE DES PARAMETRES POSTUROGRAPHIQUES ET SPATIOTEMPORELS DU PAS CHEZ LES AMPUTES DE MEMBRE INFERIEUR

La confection des prothèses pour patients amputés de membre inférieur est souvent réalisée de manière empirique. Les évaluations instrumentales de l'équilibre et de la marche commencent à être intégrées à la pratique courante de l'évaluation de l'amputé appareillé. Elles pourraient permettre de mieux évaluer les résultats fonctionnels et guider le suivi de l'appareillage. Pour cela il est nécessaire de disposer d'évaluations fiables. Ce travail de thèse analyse la reproductibilité des paramètres posturographiques et spatiotemporels du pas chez l'amputé appareillé. La reproductibilité a été mesurée par le calcul du coefficient de variation (CV) sur 6 essais de posturographie et de marche. Vingt sujets d'âge moyen 63,1 ans, 7 amputés trans-fémoraux et 13 trans-tibiaux, appareillés en moyenne depuis 4,1 ans ont été évalués comparativement à 20 sujets contrôles de même âge et sexe.

Six paramètres posturographiques, 4 paramètres spatiaux et 5 paramètres temporels de marche ont été analysés. Ces paramètres montraient une plus grande instabilité posturale chez l'amputé, ainsi qu'une marche plus lente avec des pas plus courts et plus larges, un temps d'appui monopodal raccourci du côté amputé et un temps d'appui bipodal allongé.

Les paramètres posturographiques étaient dans l'ensemble reproductibles chez les patients et les témoins. Chez les patients, la reproductibilité était excellente pour le pourcentage d'appui (CV médian= 5%), bonne pour la vitesse du centre de pression (CP ; CV médian= 14,5%) et acceptable pour la distance parcourue par le CP sur les axes latéral et sagittal (CV médian= 18% et 15,5%). Chez les patients le pourcentage d'appui était plus reproductible que les autres paramètres posturographiques ( $p=0,001$ ), mais restait moins reproductible que chez les témoins (CV médian= 3,5%;  $p= 0,001$ ).

La plupart des paramètres de marche avait une très bonne reproductibilité pour les patients. Elle était excellente pour les paramètres temporels du pas tels que la vitesse de marche (CV

médian= 4,4%), la cadence du pas (CV médian= 2,8%), le temps d'appui monopodal sain et amputé (CV médian= 3% et 4%) et le temps d'appui bipodal (CV médian= 4%). Le temps d'appui bipodal était même plus reproductible chez les patients que chez les témoins (CV médian= 6%;  $p= 0,01$ ). Concernant les paramètres spatiaux, la reproductibilité était excellente pour la longueur des pas sain et amputé (CV= 3,6% et 3%) et bonne pour la largeur des pas (CV médian= 9%).

L'analyse des corrélations entre les paramètres posturographiques, spatiotemporels du pas et les capacités fonctionnelles des amputés (Timed Up and Go test, test des 2 minutes, utilisation d'une canne béquille en extérieur) montrait que les patients les plus sévères avaient des paramètres spatiotemporels du pas moins reproductibles.

En conclusion, cette recherche avait pour but d'analyser la reproductibilité des paramètres d'évaluation instrumentale de l'équilibre et de la marche utilisés en pratique clinique courante chez l'amputé. Nous montrons que la reproductibilité des principaux paramètres est bonne voire excellente, en particulier pour les paramètres suivants : asymétrie d'appui, vitesse de marche, cadence du pas, longueur des pas, temps d'appui monopodal sain et amputé et temps d'appui bipodal.

(\*) VU ET PERMIS D'IMPRIMER  
(\*) Grenoble, le 2 02 2013

(\*) LE DOYEN



(\*) LE PRÉSIDENT DE LA THESE

**Pr Dominic PERENNOU**  
Médecine Physique et Réadaptation  
Institut de Rééducation  
Hôpital SUP - CHU de Grenoble  
(\*) PROFESSEUR  
BF 338 38434 ECHIROLLES Cedex  
Tél 04 76 76 60 33  
N RPS 10002184769

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Ephraim PL, Dillingham TR, Sector M et *al.* Epidemiology of limb loss and congenital limb deficiency: a review of the literature. *Arch Phys Med Rehabil.* mai 2003;84(5):747-761.
2. Dillingham TR, Pezzin LE, MacKenzie EJ. Limb amputation and limb deficiency: epidemiology and recent trends in the United States. *South Med J.* août 2002;95(8):875-883.
3. Fosse S, Hartemann-Heurtier A, Jacqueminet S et *al.* Évolution du taux d'incidence des amputations d'un membre inférieur chez les personnes diabétiques et devenir à trois ans des personnes diabétiques amputées, selon les données du PMSI. *Rev D'Épidémiologie Santé Publique.* avr 2010;58, Supplement 1:S18.
4. Schaarschmidt M, Lipfert SW, Meier-Gratz C et *al.* Functional gait asymmetry of unilateral transfemoral amputees. *Hum Mov Sci.* août 2012;31(4):907-917.
5. Engsberg JR, Lee AG, Tedford KG et *al.* Normative ground reaction force data for able-bodied and trans-tibial amputee children during running. *Prosthet Orthot Int.* août 1993;17(2):83-89.
6. Gailey R, Allen K, Castles J et *al.* Review of secondary physical conditions associated with lower-limb amputation and long-term prosthesis use. *J Rehabil Res Dev.* 2008;45(1):15-29.
7. Norvell DC, Czerniecki JM, Reiber GE et *al.* The prevalence of knee pain and symptomatic knee osteoarthritis among veteran traumatic amputees and nonamputees. *Arch Phys Med Rehabil.* mars 2005;86(3):487-493.
8. Burger H, Marincek C. Return to work after lower limb amputation. *Disabil Rehabil.* 15 sept 2007;29(17):1323-1329.
9. Sansam K, Neumann V, O'Connor R et *al.* Predicting walking ability following lower limb amputation: a systematic review of the literature. *J Rehabil Med Off J UEMS Eur Board Phys Rehabil Med.* juill 2009;41(8):593-603.
10. Hirokawa S. Normal gait characteristics under temporal and distance constraints. *J Biomed Eng.* nov 1989;11(6):449-456.

11. Skinner HB, Effeney DJ. Gait analysis in amputees. *Am J Phys Med.* avr 1985;64(2):82-89.
12. Van Velzen JM, van Bennekom CAM, Polonski W et *al.* Physical capacity and walking ability after lower limb amputation: a systematic review. *Clin Rehabil.* nov 2006;20(11):999-1016.
13. Rougier PR, Bergeau J. Biomechanical analysis of postural control of persons with transtibial or transfemoral amputation. *Am J Phys Med Rehabil Assoc Acad Physiatr.* nov 2009;88(11):896-903.
14. Hlavackova P, Franco C, Diot B et *al.* Contribution of Each Leg to the Control of Unperturbed Bipedal Stance in Lower Limb Amputees: New Insights Using Entropy. *PLoS ONE.* 13 mai 2011;6(5):e19661.
15. Sagawa Y Jr, Turcot K, Armand S et *al.* Biomechanics and physiological parameters during gait in lower-limb amputees: a systematic review. *Gait Posture.* avr 2011;33(4):511-526.
16. Podsiadlo D, Richardson S. The timed « Up & Go »: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc.* févr 1991;39(2):142-148.
17. Schoppen T, Boonstra A, Groothoff JW et *al.* The Timed « up and go » test: reliability and validity in persons with unilateral lower limb amputation. *Arch Phys Med Rehabil.* juill 1999;80(7):825-828.
18. Miller WC, Deathe AB, Speechley M. Lower extremity prosthetic mobility: a comparison of 3 self-report scales. *Arch Phys Med Rehabil.* oct 2001;82(10):1432-1440.
19. Gremeaux V, Damak S, Troisgros O et *al.* Selecting a test for the clinical assessment of balance and walking capacity at the definitive fitting state after unilateral amputation: a comparative study. *Prosthet Orthot Int.* déc 2012;36(4):415-422.
20. Brooks D, Parsons J, Hunter JP et *al.* The 2-minute walk test as a measure of functional improvement in persons with lower limb amputation. *Arch Phys Med Rehabil.* oct 2001;82(10):1478-1483.

21. Bilodeau S, Hébert R, Desrosiers J. Questionnaire sur la satisfaction des personnes amputées du membre inférieur face à leur prothèse, SAT PRO: Développement et validation. *Can. J. Occup. Ther. – Rev. Can. D’Ergothérapie*. 1998;66(1):23-32.
22. Gauthier-Gagnon C, Grisé MC. Prosthetic profile of the amputee questionnaire: validity and reliability. *Arch Phys Med Rehabil*. déc 1994;75(12):1309-1314.
23. Larsson B, Johannesson A, Andersson IH et *al*. The Locomotor Capabilities Index; validity and reliability of the Swedish version in adults with lower limb amputation. *Health Qual Life Outcomes*. 23 mai 2009;7:44.
24. Theeven P, Hemmen B, Stevens C et *al*. Feasibility of a new concept for measuring actual functional performance in daily life of transfemoral amputees. *J Rehabil Med Off J UEMS Eur Board Phys Rehabil Med*. sept 2010;42(8):744-751.
25. Franchignoni F, Orlandini D, Ferriero G et *al*. Reliability, validity, and responsiveness of the locomotor capabilities index in adults with lower-limb amputation undergoing prosthetic training. *Arch Phys Med Rehabil*. mai 2004;85(5):743-748.
26. Le Clair K, Riach C. Postural stability measures: what to measure and for how long. *Clin Biomech Bristol Avon*. avr 1996;11(3):176-178.
27. Genthon N, Gissot A-S, Froger J et *al*. Posturography in patients with stroke: estimating the percentage of body weight on each foot from a single force platform. *Stroke J Cereb Circ*. févr 2008;39(2):489.
28. Nederhand MJ, Van Asseldonk EHF, van der Kooij H et *al*. Dynamic Balance Control (DBC) in lower leg amputee subjects; contribution of the regulatory activity of the prosthesis side. *Clin Biomech Bristol Avon*. janv 2012;27(1):40-45.
29. Vrieling AH, van Keeken HG, Schoppen T et *al*. Balance control on a moving platform in unilateral lower limb amputees. *Gait Posture*. août 2008;28(2):222-228.
30. Salavati M, Hadian MR, Mazaheri M et *al*. Test-retest reliability [corrected] of center of pressure measures of postural stability during quiet standing in a group with musculoskeletal disorders consisting of low back pain, anterior cruciate ligament injury and functional ankle instability. *Gait Posture*. avr 2009;29(3):460-464.
31. Maribo T, Schiøttz-Christensen B, Jensen LD et *al*. Postural balance in low back pain patients: criterion-related validity of centre of pressure assessed on a portable force

- platform. Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc. mars 2012;21(3):425-431.
32. Raymakers JA, Samson MM, Verhaar HJJ. The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s). Gait Posture. janv 2005;21(1):48-58.
  33. Blomqvist S, Wester A, Sundelin G et al. Test-retest reliability, smallest real difference and concurrent validity of six different balance tests on young people with mild to moderate intellectual disability. Physiotherapy. déc 2012;98(4):313-319.
  34. Hermodsson Y, Ekdahl C, Persson BM et al. Gait in male trans-tibial amputees: a comparative study with healthy subjects in relation to walking speed. Prosthet Orthot Int. août 1994;18(2):68-77.
  35. Doyle TL, Newton RU, Burnett AF. Reliability of traditional and fractal dimension measures of quiet stance center of pressure in young, healthy people. Arch Phys Med Rehabil. oct 2005;86(10):2034-2040.
  36. Lafond D, Corriveau H, Hébert R et al. Intrasession reliability of center of pressure measures of postural steadiness in healthy elderly people. Arch Phys Med Rehabil. juin 2004;85(6):896-901.
  37. Samson M, Crowe A. Intra-subject inconsistencies in quantitative assessments of body sway. Gait Posture. mai 1996;4(3):252-257.
  38. Geurts AC, Nienhuis B, Mulder TW. Intrasubject variability of selected force-platform parameters in the quantification of postural control. Arch Phys Med Rehabil. nov 1993;74(11):1144-1150.
  39. Corriveau H, Hébert R, Prince F et al. Intrasession reliability of the « center of pressure minus center of mass » variable of postural control in the healthy elderly. Arch Phys Med Rehabil. janv 2000;81(1):45-48.
  40. Lamothe CJC, Ainsworth E, Polonski W et al. Variability and stability analysis of walking of transfemoral amputees. Med Eng Phys. nov 2010;32(9):1009-1014.
  41. Boonstra AM, Fidler V, Eisma WH. Walking speed of normal subjects and amputees: aspects of validity of gait analysis. Prosthet Orthot Int. août 1993;17(2):78-82.

42. Lythgo N, Marmaras B, Connor H. Physical function, gait, and dynamic balance of transfemoral amputees using two mechanical passive prosthetic knee devices. *Arch Phys Med Rehabil.* oct 2010;91(10):1565-1570.
43. Yeung LF, Leung AKL, Zhang M et al. Long-distance walking effects on trans-tibial amputees compensatory gait patterns and implications on prosthetic designs and training. *Gait Posture.* févr 2012;35(2):328-333.
44. Hof AL, van Bockel RM, Schoppen T et al. Control of lateral balance in walking. Experimental findings in normal subjects and above-knee amputees. *Gait Posture.* févr 2007;25(2):250-258.
45. Su P-F, Gard SA, Lipschutz RD et al. Gait characteristics of persons with bilateral transtibial amputations. *J Rehabil Res Dev.* 2007;44(4):491-501.
46. Allet L, Armand S, de Bie RA et al. Reliability of diabetic patients' gait parameters in a challenging environment. *Gait Posture.* nov 2008;28(4):680-686.
47. Steinwender G, Saraph V, Scheiber S et al. Intrasubject repeatability of gait analysis data in normal and spastic children. *Clin Biomech Bristol Avon.* févr 2000;15(2):134-139.
48. Thorpe DE, Dusing SC, Moore CG. Repeatability of temporospatial gait measures in children using the GAITRite electronic walkway. *Arch Phys Med Rehabil.* déc 2005;86(12):2342-2346.
49. Montero-Odasso M, Casas A, Hansen KT et al. Quantitative gait analysis under dual-task in older people with mild cognitive impairment: a reliability study. *J Neuroengineering Rehabil.* 2009;6:35.



## ANNEXES

### *Annexe 1 :*

#### **LISTE DES PROFESSEURS ET DES MAITRES DE CONFERENCE UNIVERSITAIRES – PRATICIEN HOSPITALIER DE LA FACULTE DE MEDECINE DE GRENOBLE**

Année 2012-2013

#### **PUPH**

<b>Nom - Prénom</b>	<b>Discipline</b>
<b>ALBALADEJO Pierre</b>	<b>Anesthésiologie réanimation</b>
<b>ARVIEUX-BARTHELEMY Catherine</b>	<b>chirurgie générale</b>
<b>BACONNIER Pierre</b>	<b>Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication</b>
<b>BAGUET Jean-Philippe</b>	<b>Cardiologie</b>
<b>BALOSSO Jacques</b>	<b>Radiothérapie</b>
<b>BARRET Luc</b>	<b>Médecine légale et droit de la santé</b>
<b>BAUDAIN Philippe</b>	<b>Radiologie et imagerie médicale</b>
<b>BEANI Jean-Claude</b>	<b>Dermato-vénéréologie</b>
<b>BENHAMOU Pierre Yves</b>	<b>Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques</b>
<b>BERGER François</b>	<b>Biologie cellulaire</b>
<b>BLIN Dominique</b>	<b>Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire</b>

<b>BONAZ Bruno</b>	<b>Gastro-entérologie, hépatologie, addictologie</b>
<b>BOSSON Jean-Luc</b>	<b>Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication</b>
<b>BOUGEROL Thierry</b>	<b>Psychiatrie d'adultes</b>
<b>BOUILLET Laurence</b>	<b>Médecine interne</b>
<b>BRAMBILLA CHRISTIAN</b>	<b>Pneumologie</b>
<b>BRAMBILLA Elisabeth</b>	<b>Anatomie et cytologie pathologiques</b>
<b>BRICAULT Ivan</b>	<b>Radiologie et imagerie médicale</b>
<b>BRICHON Pierre-Yves</b>	<b>Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire</b>
<b>CAHN Jean-Yves</b>	<b>Hématologie</b>
<b>CARPENTIER Françoise</b>	<b>Thérapeutique, médecine d'urgence</b>
<b>CARPENTIER Patrick</b>	<b>Chirurgie vasculaire, médecine vasculaire</b>
<b>CESBRON Jean-Yves</b>	<b>Immunologie</b>
<b>CHABARDES Stephan</b>	<b>Neurochirurgie</b>
<b>CHABRE Olivier</b>	<b>Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques</b>
<b>CHAFFANJON Philippe</b>	<b>Anatomie</b>
<b>CHAVANON Olivier</b>	<b>Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire</b>
<b>CHIQUET Christophe</b>	<b>Ophtalmologie</b>
<b>CHIROUSSEL Jean-Paul</b>	<b>Anatomie</b>

<b>CINQUIN Philippe</b>	<b>Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication</b>
<b>COHEN Olivier</b>	<b>Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication</b>
<b>COUTURIER Pascal</b>	<b>Gériatrie et biologie du vieillissement</b>
<b>CRACOWSKI Jean-Luc</b>	<b>Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique</b>
<b>DE GAUDEMARIS Régis</b>	<b>Médecine et santé au travail</b>
<b>DEBILLON Thierry</b>	<b>Pédiatrie</b>
<b>DEMATTEIS Maurice</b>	<b>Addictologie</b>
<b>DEMONGEOT Jacques</b>	<b>Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication</b>
<b>DESCOTES Jean-Luc</b>	<b>Urologie</b>
<b>ESTEVE François</b>	<b>Biophysique et médecine nucléaire</b>
<b>FAGRET Daniel</b>	<b>Biophysique et médecine nucléaire</b>
<b>FAUCHERON Jean-Luc</b>	<b>chirurgie générale</b>
<b>FERRETTI Gilbert</b>	<b>Radiologie et imagerie médicale</b>
<b>FEUERSTEIN Claude</b>	<b>Physiologie</b>
<b>FONTAINE Eric</b>	<b>Nutrition</b>
<b>FRANCOIS Patrice</b>	<b>Epidémiologie, économie de la santé et prévention</b>

<b>GARBAN Frédéric</b>	<b>Hématologie, transfusion</b>
<b>GAUDIN Philippe</b>	<b>Rhumatologie</b>
<b>GAVAZZI Gaetan</b>	<b>Gériatrie et biologie du vieillissement</b>
<b>GAY Emmanuel</b>	<b>Neurochirurgie</b>
<b>GRIFFET Jacques</b>	<b>Chirurgie infantile</b>
<b>HALIMI Serge</b>	<b>Nutrition</b>
<b>HENNEBICQ Sylviane</b>	<b>Génétique et procréation</b>
<b>HOFFMANN Pascale</b>	<b>Gynécologie obstétrique</b>
<b>HOMMEL Marc</b>	<b>Neurologie</b>
<b>JOUK Pierre-Simon</b>	<b>Génétique</b>
<b>JUVIN Robert</b>	<b>Rhumatologie</b>
<b>KAHANE Philippe</b>	<b>Physiologie</b>
<b>KRACK Paul</b>	<b>Neurologie</b>
<b>KRAINIK Alexandre</b>	<b>Radiologie et imagerie médicale</b>
<b>LABARERE José</b>	<b>Département de veille sanitaire</b>
<b>LANTUEJOUL Sylvie</b>	<b>Anatomie et cytologie pathologiques</b>
<b>LE BAS Jean-François</b>	<b>Biophysique et médecine nucléaire</b>
<b>LEBEAU Jacques</b>	<b>Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie</b>
<b>LECCIA Marie-Thérèse</b>	<b>Dermato-vénéréologie</b>

<b>LEROUX Dominique</b>	<b>Génétique</b>
<b>LEROY Vincent</b>	<b>Gastro-entérologie, hépatologie, addictologie</b>
<b>LETOUBLON Christian</b>	<b>chirurgie générale</b>
<b>LEVY Patrick</b>	<b>Physiologie</b>
<b>LUNARDI Joël</b>	<b>Biochimie et biologie moléculaire</b>
<b>MACHECOURT Jacques</b>	<b>Cardiologie</b>
<b>MAGNE Jean-Luc</b>	<b>Chirurgie vasculaire</b>
<b>MAITRE Anne</b>	<b>Médecine et santé au travail</b>
<b>MAURIN Max</b>	<b>Bactériologie - virologie</b>
<b>MERLOZ Philippe</b>	<b>Chirurgie orthopédique et traumatologie</b>
<b>MORAND Patrice</b>	<b>Bactériologie - virologie</b>
<b>MORO Elena</b>	<b>Neurologie</b>
<b>MORO-SIBILOT Denis</b>	<b>Pneumologie</b>
<b>MOUSSEAU Mireille</b>	<b>Cancérologie</b>
<b>MOUTET François</b>	<b>Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, brûlogie</b>
<b>PALOMBI Olivier</b>	<b>Anatomie</b>
<b>PASSAGIA Jean-Guy</b>	<b>Anatomie</b>
<b>PAYEN DE LA GARANDERIE Jean-François</b>	<b>Anesthésiologie réanimation</b>

<b>PELLOUX Hervé</b>	<b>Parasitologie et mycologie</b>
<b>PEPIN Jean-Louis</b>	<b>Physiologie</b>
<b>PERENNOU Dominique</b>	<b>Médecine physique et de réadaptation</b>
<b>PERNOD Gilles</b>	<b>Médecine vasculaire</b>
<b>PIOLAT Christian</b>	<b>Chirurgie infantile</b>
<b>PISON Christophe</b>	<b>Pneumologie</b>
<b>PLANTAZ Dominique</b>	<b>Pédiatrie</b>
<b>POLACK Benoît</b>	<b>Hématologie</b>
<b>PONS Jean-Claude</b>	<b>Gynécologie obstétrique</b>
<b>RAMBEAUD Jacques</b>	<b>Urologie</b>
<b>REYT Emile</b>	<b>Oto-rhino-laryngologie</b>
<b>RIGHINI Christian</b>	<b>Oto-rhino-laryngologie</b>
<b>ROMANET J. Paul</b>	<b>Ophtalmologie</b>
<b>SARAGAGLIA Dominique</b>	<b>Chirurgie orthopédique et traumatologie</b>
<b>SCHMERBER Sébastien</b>	<b>Oto-rhino-laryngologie</b>
<b>SCHWEBEL Carole</b>	<b>Réanimation médicale</b>
<b>SERGENT Fabrice</b>	<b>Gynécologie obstétrique</b>
<b>SESSA Carmine</b>	<b>Chirurgie vasculaire</b>
<b>STAHL Jean-Paul</b>	<b>Maladies infectieuses, maladies tropicales</b>

<b>STANKE Françoise</b>	<b>Pharmacologie fondamentale</b>
<b>TIMSIT Jean-François</b>	<b>Réanimation</b>
<b>TONETTI Jérôme</b>	<b>Chirurgie orthopédique et traumatologie</b>
<b>TOUSSAINT Bertrand</b>	<b>Biochimie et biologie moléculaire</b>
<b>VANZETTO Gérald</b>	<b>Cardiologie</b>
<b>VUILLEZ Jean-Philippe</b>	<b>Biophysique et médecine nucléaire</b>
<b>WEIL Georges</b>	<b>Epidémiologie, économie de la santé et prévention</b>
<b>ZAOUI Philippe</b>	<b>Néphrologie</b>
<b>ZARSKI Jean-Pierre</b>	<b>Gastro-entérologie, hépatologie, addictologie</b>

### **MCU-PH**

<b>Nom - Prénom</b>	<b>Discipline</b>
<b>APTEL Florent</b>	<b>Ophtalmologie</b>
<b>BOISSET Sandrine</b>	<b>Agents infectieux</b>
<b>BONNETERRE Vincent</b>	<b>Médecine et santé au travail</b>
<b>BOTTARI Serge</b>	<b>Biologie cellulaire</b>
<b>BOUTONNAT Jean</b>	<b>Cytologie et histologie</b>
<b>BOUZAT Pierre</b>	<b>Réanimation</b>
<b>BRENIER-PINCHART M.Pierre</b>	<b>Parasitologie et mycologie</b>

<b>BRIOT Raphaël</b>	<b>Thérapeutique, médecine d'urgence</b>
<b>CALLANAN-WILSON Mary</b>	<b>Hématologie, transfusion</b>
<b>DERANSART Colin</b>	<b>Physiologie</b>
<b>DETANTE Olivier</b>	<b>Neurologie</b>
<b>DIETERICH Klaus</b>	<b>Génétique et procréation</b>
<b>DUMESTRE-PERARD Chantal</b>	<b>Immunologie</b>
<b>EYSSERIC Hélène</b>	<b>Médecine légale et droit de la santé</b>
<b>FAURE Julien</b>	<b>Biochimie et biologie moléculaire</b>
<b>GILLOIS Pierre</b>	<b>Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication</b>
<b>GRAND Sylvie</b>	<b>Radiologie et imagerie médicale</b>
<b>GUZUN Rita</b>	<b>Endocrinologie, diabétologie, nutrition, éducation thérapeutique</b>
<b>LAPORTE François</b>	<b>Biochimie et biologie moléculaire</b>
<b>LARDY Bernard</b>	<b>Biochimie et biologie moléculaire</b>
<b>LARRAT Sylvie</b>	<b>Bactériologie, virologie</b>
<b>LAUNOIS-ROLLINAT Sandrine</b>	<b>Physiologie</b>
<b>MALLARET Marie-Reine</b>	<b>Epidémiologie, économie de la santé et prévention</b>
<b>MAUBON Danièle</b>	<b>Parasitologie et mycologie</b>
<b>MC LEER (FLORIN) Anne</b>	<b>Cytologie et histologie</b>



<b>MOREAU-GAUDRY Alexandre</b>	<b>Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication</b>
<b>MOUCHET Patrick</b>	<b>Physiologie</b>
<b>PACLET Marie-Hélène</b>	<b>Biochimie et biologie moléculaire</b>
<b>PAYSANT François</b>	<b>Médecine légale et droit de la santé</b>

<b>PELLETIER Laurent</b>	<b>Biologie cellulaire</b>
<b>RAY Pierre</b>	<b>Génétique</b>
<b>RIALLE Vincent</b>	<b>Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication</b>
<b>ROUX-BUISSON Nathalie</b>	<b>Biochimie, toxicologie et pharmacologie</b>
<b>SATRE Véronique</b>	<b>Génétique</b>
<b>STASIA Marie-Josée</b>	<b>Biochimie et biologie moléculaire</b>
<b>TAMISIER Renaud</b>	<b>Physiologie</b>

**Annexe 2 :**

***SERMENT D'HIPPOCRATE***

*En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'HIPPOCRATE,*

*Je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine.*

*Je donnerai mes soins gratuitement à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.*

*Admis dans l'intimité des maisons, mes yeux n'y verront pas ce qui s'y passe ; ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.*

*Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.*

*Je garderai le respect absolu de la vie humaine.*

*Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.*

*Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.*

*Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.*

*Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.*